
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy

Automatizace úlohy Měření úhlu natočení pomocí IRC

Automation of the assignment Measurement of angle through the use of IRC

Bakalářská práce

Autor: **Marvin Gjepali**

Vedoucí práce: Ing. Lenka Kretschmerová, Ph.D.

V Liberci 19. 5. 2011



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marvin GJEPALI**
Osobní číslo: **M08000018**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Automatizace úlohy Měření úhlu natočení pomocí IRC**
Zadávající katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte rešerši možnosti vzdáleného řízení pro řízení digitálních zařízení pomocí pulsů.
2. Navrhněte nejvhodnější způsob zapojení a vzdáleného řízení pro laboratorní úlohu Měření úhlu natočení pomocí IRC. Pro natáčení hřídele čidla použijte krokový motorek.
3. Zrealizujte navržený systém dálkového ovládání otáčení IRC i čtení počtu impulsů z čidla - HW i SW (lze použít i komerčně dostupný SW).
4. Navrhněte zadání pro upravenou laboratorní úlohu Měření úhlu natočení pomocí IRC a proveďte vzorové měření na ověření pracoviště.



Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Ďaďo, S., Kreidl, M.: Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVUT Praha 1999
2. Doleček, J.: Moderní učebnice elektroniky - 3.díl Optoelektronika, BEN 2005, ISBN 80-7300-184-5
3. katalogový list k senzoru IRC 305 firmy LARM s.r.o.
URL: www.larm.cz/CZ/katalogy/snimace/czIRC300-325%20.pdf

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Kretschmerová, Ph.D.
Ústav řízení systémů a spolehlivosti

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2011


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2010



Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom(a) toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

19.5.2011

Podpis



Poděkování

Nejprve bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při psaní tohoto textu a své přítelkyni za kontrolu textu.

Díky vedoucí této práce, Ing. Lenka Kretschmerová, Ph.D., mohla tato práce nabít této podoby a to od zadání práce až po její organizaci.

Za odborné konzultace ohledně návrhů plošných spojů chci poděkovat panu Ing. Lubomíru Slavíkovi.

Tento text vznikl za podpory projektu ESF CZ.1.07/2.2.00/07.0247.
Reflexe požadavků průmyslu na výuku v oblasti automatického řízení a měření.

Dále bych chtěl poděkovat firmě ČEZ, a. s. za finanční podporu ohledně výroby plošných spojů.



Abstrakt

Tato práce obsahuje projekt, který má za úkol navrhnout a zrealizovat automatizaci úlohy pro měření úhlu natočení pro inkrementální čidlo.

Řešená problematika je rozebrána teoreticky, podle teorie jsou navrženy schémata a plošné spoje. K řešení dané problematiky bylo využito katalogových listů přímo od výrobců. Návrh plošných spojů byl realizován na základě platné teorie, která je matematicky popsána.

Rozdíly mezi teorií a praxí jsou následně okomentovány a vysvětleny. Zhotovená práce je zde přiložena a zdokumentována.

Tato práce následně obsahuje informace o dalším možném rozšíření, navázání a uplatnění v průmyslu.

Klíčová slova

Vzdálené měření, řídicí jednotka, inkrementální rotační kodér (IRC), proudová sběrnice (RS-485), krokový motor



Abstract

This work contains a project which is going to draw up and eventually realize automation tasks to measure the angle encoder.

The issue is analyzed theoretically; schemes and printed circuits are drawn up according to the theory. To solving the issue was used datasheets directly from the manufacturers. Printed circuit board design was implemented by valid theory, which is mathematically described.

The differences between the theory and the practice are consequently commented on and explained. Created work is added to this project and documented.

This work has subsequently information about other possible extensions, establishment and industrially application.

Keywords

Remote measurement, control unit, incremental rotary coder (IRC), current bus (RS-485), Stepper Motor



Obsah

PROHLÁŠENÍ	- 3 -
PODĚKOVÁNÍ	- 4 -
ABSTRAKT	- 5 -
KLÍČOVÁ SLOVA	- 5 -
ABSTRACT	- 6 -
KEYWORDS	- 6 -
POUŽITÉ ZKRATKY A CIZÍ SLOVA	- 11 -
ÚVOD	- 12 -
1. TEORETICKÝ ROZBOR	- 13 -
1.1. TTL LOGIKA	- 13 -
1.1.1. CMOS technologie	- 14 -
1.2. MIKROPROCESOR	- 14 -
1.3. KOMUNIKACE	- 16 -
1.3.1. RS-232	- 16 -
1.3.2. USB	- 16 -
1.3.3. Ethernet	- 17 -
1.3.4. SPI	- 18 -
1.3.5. USART	- 21 -
1.4. KROKOVÝ MOTOR	- 25 -
1.5. ROTAČNÍ ČIDLO	- 26 -
1.5.1. Inkrementální rotační čidlo	- 26 -
1.5.2. Absolutní rotační čidlo	- 27 -
1.5.3. Rotační čidla závěrem	- 28 -
1.6. OPTICKÉ ODDĚLENÍ	- 28 -
2. NÁVRH ZAPOJENÍ	- 29 -
2.1. SBĚRNICE	- 30 -
2.2. JEDNOTKA	- 33 -
2.2.1. Zapojení mikroprocesoru	- 33 -
2.2.2. Taktování mikroprocesoru	- 34 -
2.3. PŘÍPRAVEK NA PRACOVÍŠTI	- 35 -
2.3.1. Krokový motor	- 35 -
2.3.2. Rotační čidlo	- 37 -
2.3.3. Displej	- 39 -
3. REALIZACE	- 40 -
3.1. NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ	- 41 -
3.2. JEDNOTKA	- 44 -
3.2.1. Řídící okruh	- 44 -
3.2.2. Komunikace USB	- 47 -
3.2.3. Komunikace LAN	- 48 -
3.2.4. Komunikace COM	- 49 -



3.2.5.	<i>Plošný spoj řídicí jednotky</i>	- 50 -
3.3.	PŘÍPRAVEK	- 52 -
3.3.1.	<i>Ovládání krokového motoru</i>	- 52 -
3.3.2.	<i>Čtení informací z rotačního čidla</i>	- 52 -
3.3.3.	<i>Zapojení přípravku</i>	- 53 -
3.3.4.	<i>Plošný spoj přípravku</i>	- 54 -
3.3.5.	<i>Zapojení přípravku</i>	- 56 -
3.4.	TOK DAT PO SBĚRNICI	- 56 -
4.	ZADÁNÍ PRO PŮVODNÍ LABORATORNÍ ÚLOHU	- 58 -
4.1.	ZADÁNÍ	- 58 -
5.	ZADÁNÍ PRO UPRAVENOU LABORATORNÍ ÚLOHU	- 60 -
5.1.	ZADÁNÍ	- 60 -
6.	SHRNUTÍ	- 63 -
	ZÁVĚR	- 65 -
	LITERATURA	- 66 -
	SEZNAM PŘÍLOH	- 68 -
	PŘÍLOHY	- 69 -



Seznam obrázků

OBR. 1: ZAPOJENÍ CMOS INVERTORU [2]	13
OBR. 2: ZAPOJENÍ OBVODU CMOS NAND [3]	13
OBR. 3: PRŮBĚH SIGNÁLU RS-232 [6]	16
OBR. 4: BLOKOVÉ SCHÉMA HARDWAROVÉ ČÁSTI USB [7]	17
OBR. 5: PŘIPOJENÍ ŘADIČŮ NA SPI [8]	18
OBR. 6: PŘIPOJENÍ VÍCE ZAŘÍZENÍ PO KOMUNIKACI UART [9]	21
OBR. 7: REALIZACE KROKOVÉHO MOTORU [10]	25
OBR. 8: OPTICKÉ STÍNÍTKO IRC [11]	26
OBR. 9: PRŮBĚHY IMPULZŮ IRC [11]	26
OBR. 10: OPTICKÉ STÍNÍTKO ABSOLUTNÍHO ČIDLA [11]	27
OBR. 11: HRADLOVÝ OPTOČLEN [13]	28
OBR. 12: BLOKOVÉ SCHÉMA OBSAZENÍ LABORATOŘE	29
OBR. 13: RS-485 S GALVANICKÝM ODDĚLENÍM [1]	30
OBR. 14: REALIZACE HRADEL V RS-485 [1]	30
OBR. 15: ZÁVISLOSTI DÉLKY VODIČŮ NA PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI [1]	31
OBR. 16: ZÁVISLOST DÉLKY VODIČŮ NA PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI RS-485 [1]	32
OBR. 17: ZAPOJENÍ MIKROPROCESORU	33
OBR. 18: BLOKOVÉ SCHÉMA ŘÍDICÍ JEDNOTKY	34
OBR. 19: BLOKOVÉ SCHÉMA PŘÍPRAVKU NA PRACOVÍŠTI	35
OBR. 20: OVLÁDÁNÍ KROKOVÉHO MOTORU [14]	36
OBR. 21: ROZMĚRY ROTAČNÍHO ČIDLA IRC 305 [15]	37
OBR. 22: SIGNÁLY INKREMENTÁLNÍHO ČIDLA [15]	38
OBR. 23: ZNAKOVÝ DISPLEJ [16]	39
OBR. 24: NESPRÁVNÝ A SPRÁVNÝ NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ [17]	43
OBR. 25: DIFERENCIÁLNÍ PROUDOVÁ LINKA [17]	43
OBR. 26: POUZDRA S POVRCHOVOU MONTÁŽÍ [17]	43
OBR. 27: SCHÉMA ŘÍDICÍHO OKRUHU PRO JEDNOTKU	44
OBR. 28: VNITŘNÍ ZAPOJENÍ JEDNOHO PŘEPÍNACÍHO KONTAKTU PRO OBVOD 4053 [18]	45
OBR. 29: PRINCIPÁLNÍ ZAPOJENÍ OBVODU PRO RS-485 [19]	46
OBR. 30: KOMUNIKACE S VÍCE ZAŘÍZENÍMI [19]	46
OBR. 31: KOMUNIKACE USB NA ŘÍDICÍ JEDNOTCE	47
OBR. 32: HRADLOVÝ OPTOČLEN 1N167 [20]	48
OBR. 33: ZAPOJENÍ FT232R NA ŘÍDICÍ JEDNOTCE [21]	48
OBR. 34: KOMUNIKACE LAN PRO ŘÍDICÍ JEDNOTKU	49
OBR. 35: TYPICKÉ ZAPOJENÍ ENC28J60 [22]	49
OBR. 36: KOMUNIKACE COM PRO ŘÍDICÍ JEDNOTKU	50
OBR. 37: OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ ŘÍDICÍ JEDNOTKY ZE STRANY TOP	51
OBR. 38: OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ ŘÍDICÍ JEDNOTKY ZE STRANY BOTTOM	51
OBR. 39: SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘÍPRAVKU	54
OBR. 40: OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ PŘÍPRAVKU ZE STRANY TOP	55
OBR. 41: OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ PŘÍPRAVKU ZE STRANY BOTTOM	55
OBR. 42: ROTAČNÍ SNÍMAČ IRC, VÝSTUP A	58
OBR. 43: ELEKTRONICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘÍPRAVKU	59
OBR. 44: OPTICKÉ STÍNÍTKO IRC [11]	60
OBR. 45: BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘÍPRAVKU	61



Seznam tabulek

TAB. 1: <i>VLASTNOSTI OBVODU</i>	- 14 -
TAB. 2: VÝPOČET PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI PŘES USART [5]	- 22 -
TAB. 3: KONTAKTY ROTAČNÍHO SENZORU [15]	- 53 -
TAB. 4: DATA KOLUJÍCÍ PO SBĚRNICI	- 56 -



Použité zkratky a cizí slova

<i>Zkratka</i>	<i>Vyjádření zkratky</i>	<i>Vysvětlení</i>
ADC	Analog Digital Converter	Analogově-digitální převodník
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	Standard kódování znaků
BiCMOS	Bi-Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	Druh obvodové architektury
Bootloader		Program, který načte jiný program
Bottom		Spodní vrstva plošného spoje
CAD	Computer aided design	Počítačové projektování
CAM	Computer aided manufacturing	Počítačem podporovaná výroba
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	Druh obvodové architektury
COM		Sériové rozhraní
DC	Direct Current	Stejnosměrný proud
Debugging		Ladění programu
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Memory	Mazatelná programovací paměť
Enable		Povolení
Ethernet		Standard, pro budování LAN
Flash		Typ paměti
Full-Duplex		Plně-duplexní
GND	Ground	Potenciál země
Half-Duplex		Polo-duplexní
High		Logická jednička
Idle		Režim spánku
IN	In	Vstup
IRC	Incremental Rotary Coder	Inkrementální rotační čidlo
LAN	Local Area Network	Lokální síť, místní síť
LCD	Liquid Crystal Display	Displej z tekutých krystalů
Low		Logická nula
MCU	Multipoint Control Unit	Mikrokontrolér
MISO	Master In, Slave Out	Kontakt sběrnice SPI, výstup
MOSI	Master Out, Slave In	Kontakt sběrnice SPI, vstup
Optocoupler		Prvek oddělující potenciály
PC	Personal Computer	Osobní počítač
Pin		Kontakt signálu
Plug&Play		Zapoj a hraj (jednoduchá obsluha)
Pull-Down		Rezistor posilující logickou nulu
Pull-Up		Rezistor posilující log. jedničku
PWM	Pulse Wide Modulation	Pulsně šířková modulace
Read		Čtení
RoHS	Restriction of the use of certain Hazardous Substances	Omezení nebezpečných látek
SCLK	Slave Clock	Kontakt sběrnice SPI, takt
SPI	Serial Peripheral Interface	Sériové periferní rozhraní
SS	Select Source	Kontakt sběrnice SPI, výběr
Top		Vrchní vrstva plošného spoje
Tranzistor		Spínací prvek
TTL	Transistor-transistor logic	Tranzistorově-tranzistorová logika
USART	Universal syn./asynchronous receiver/transmitter	Komunikace po sériovém portu
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
Watchdog		Hlídací obvod pro reset
Write		Zápis



Úvod

Tato práce obsahuje návrh pro realizaci automatizovaného pracoviště, které bude ovládáno vzdáleně. Hlavním cílem je zpřístupnit jedno z laboratorních pracovišť Technické univerzity studentům dálkových oborů z domova či z jiného místa. Jedná se konkrétně o pracoviště s úlohou Měření úhlu natočení pomocí IRC.

Tato práce vychází z již zpracované bakalářské práce zabývající se vzdáleným připojením k počítači na Technické univerzitě v Liberci. Úkolem je tedy možnost ovládání pracoviště jak po elektrické, tak i po mechanické stránce, tak aby studenti měli téměř plnou kontrolu nad svou úlohou a neunikal jim smysl měření.

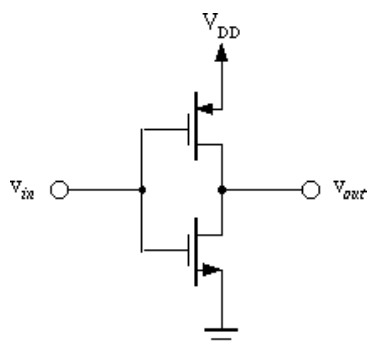
Cíle jsou však vyšší, a to aby celý systém v laboratoři mohl obsadit větší množství pracovišť. Myšlenka je taková, že v laboratoři bude jednotka s otevřenou sběrnici, se kterou budou komunikovat přípravky pro jednotlivé úlohy, včetně již výše zmíněné úlohy. Další přípravky pro samostatná pracoviště by mohly vycházet z této práce a mohly by být zadány např. v následujících bakalářských pracích. Jelikož jednotlivé prvky budou samostatné, lze vše modifikovat.



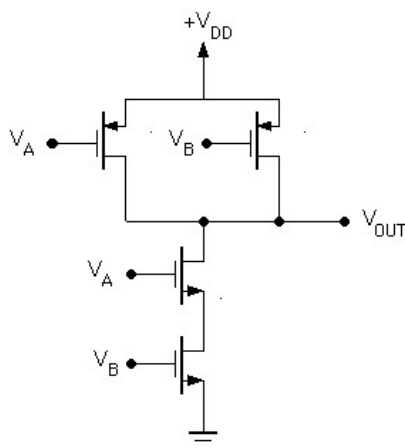
1. Teoretický rozbor

1.1. TTL Logika

Zkratka TTL vyjadřuje Transistor-Transistor Logic, což znamená přímé propojení tranzistorů, které ovládají výstupní stavy zapnuto/vypnuto. Tyto stavy přepínají dva různé potenciály. Existuje několik možných norem pro realizaci architektur, mezi které patří převážně CMOS a BiCMOS. [1]



Obr. 1: Zapojení CMOS invertoru [2]



Obr. 2: Zapojení obvodu CMOS NAND [3]

Na Obr. 1 je zobrazeno principiální zapojení CMOS invertoru. Ten pracuje tak, že tranzistory se střídají v sepnutém režimu v závislosti na vstupní hodnotě. Je využito N pólu a P pólu, tím je zajištěno, že je vždy otevřen pouze jeden z tranzistorů.



Na Obr. 2 je zobrazen obvod CMOS NAND, který je negátorem funkce, která násobí dva vstupy v binární soustavě, čili jeho výstup s jedničkou je pouze v případě, že všechny jeho vstupy jsou nulové. Tento obvod má tu výhodu, že z něj lze sestavit jakýkoliv logický obvod.

Co se týče vstupních úrovní napětí, jsou pro ně různé normy, například **Tab. 1**.

Tab. 1: *Vlastnosti obvodu*

AC	Advanced CMOS	Rychlost se pohybuje mezi řadami S a F
AHC	Advanced High-Speed CMOS	Dosahuje přibližně tři-krát vyšších rychlostí než HC
ALVC	Low voltage	Napájecí napětí: 1.65 až 3.3 V, 2 ns
AUC	Low voltage	Napájecí napětí: 0.8 až 2.7 V, <1.9 ns při 1.8 V
C	CMOS	Napájecí napětí: 4-15 V, parametry jako u řady 4000
FC	Fast CMOS	Rychlost podobná jako řada F
G	Velmi vysoké frekvence vyšší než 1 GHz	Napájecí napětí: 1.65 V až 3.3 V, vstupy tolerují 5 V, 1ns
HC	High speed CMOS	Napájecí napětí: 5 V, rychlost jako u řady LS, okolo 12 ns
HCT	High speed CMOS - TTL	Logické úrovně jako u standardní TTL
LCX	CMOS s napájením 3V	Vstupy tolerují napětí 5V (vhodné pro kombinaci s 5 V TTL logikou)
LVC	Low voltage	Napájecí napětí: 1.65 až 3.3 V, vstupy tolerují napětí 5V (<5.5 ns při 3.3 V, <9 ns při 2.5 V)
LVQ	Low voltage	Napájecí napětí: 3.3 V
LVX	Low voltage	Napájecí napětí: 3.3 V, vstupy tolerují napětí 5 V
VHC	Very High Speed CMOS	Parametry podobné jako řada S, technologie a příkon odpovídá CMOS

1.1.1. CMOS technologie

Tato technologie využívá několika různých typů tranzistorů, jako jsou například: mutace SOI, SiGe, GaAs. Tyto tranzistory jsou nejčastěji strukturovány do podoby Planar FET, FinFet a ITFET. Poslední zmíněná struktura se v poslední době uplatnila nejvíce. Jedná se o více hradlovou strukturu, která je orientována i ve vertikální ose, čili umožnila značné zmenšení integrovaných obvodů. [4]

1.2. Mikroprocesor

Mikroprocesor architektury RISC (Reduced Instruction Set Computer), nazýván také jako mikrokontrolér či MCU. Vykonává veškeré výpočetní úkony na základě vstupních hodnot jak z pamětí, tak i přímo z portů. Obsahuje tři až čtyři základní druhy pamětí, což jsou Flash, xRAM, SRAM a případně EEPROM.



Flash je trvalá paměť. Je v ní uložen celý algoritmus, který vykoná příkazy z algoritmů. Tyto příkazy se do tohoto procesoru nahrají pomocí sběrnice pro programování. Pro tuto operaci se využívá programátor vhodný pro daný procesor. XRAM je trvalá interní paměť, která se využívá pouze externím zařízením. SRAM je dočasná paměť s náhodným přístupem, což napovídá název (Random Access Memory). Je určena k ukládání pomocných výpočetních hodnot, protože má velmi krátkou přístupovou i zapisovací dobu. EEPROM je trvalá paměť s malou kapacitou, ale s krátkou přístupovou dobou. Je vhodná pro ukládání kódů a klíčů.

Procesor dále může obsahovat časovače, čítače, ADC (Analog Digital Converter), watchdog, porty a USART a SPI sběrnice.

Časovač a čítač jsou jednoduché číslicové operace, které však mohou pracovat v pozadí procesoru a díky tomu může MCU pracovat efektivněji.

Watchdog je systém, který hlídá běh procesoru. Při nežádoucím nebo chybném výpočtu restartuje chod procesoru, aby se zamezilo poškození, zastavení přístroje, či odeslání špatné informace.

Porty obsahují vývody pinů ve stejném počtu jako je šířka adresy jádra procesoru. V některých případech může být tento počet menší, což je dáno omezením normalizované patice. Procesor může obsahovat více portů. Tyto porty jsou často využívány pro spínání nebo paralelní komunikaci.

USART a SPI sběrnice jsou sériové linky, které mohou splňovat normy pro COM i USB po přidání příslušného řadiče. SPI se spíše využívá pro přenos dat do externích řadičů či pro komunikaci s více prvky ve sběrnici. [5]

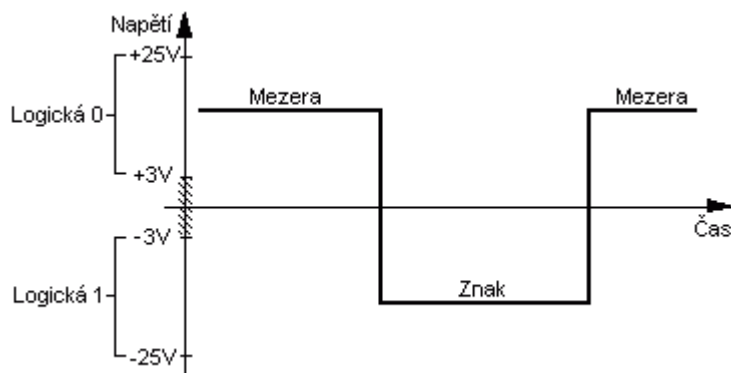
Blokové schéma vnitřního zapojení mikroprocesoru rodiny AVR od firmy Atmel, je znázorněno níže jako **Příloha G: Blokové schéma mikroprocesoru AVR**.



1.3. Komunikace

1.3.1. RS-232

Tento standard komunikace je určen pro výměnu informací dvou zařízení do vzdálenosti patnácti metrů a je odolný vůči okolnímu rušení. Tato odolnost je zajištěna zvýšeným napětím na komunikačních linkách. Přenos probíhá po pevně nastavených parametrech komunikace (rychlost, parita apod.).



Obr. 3: Průběh signálu RS-232 [6]

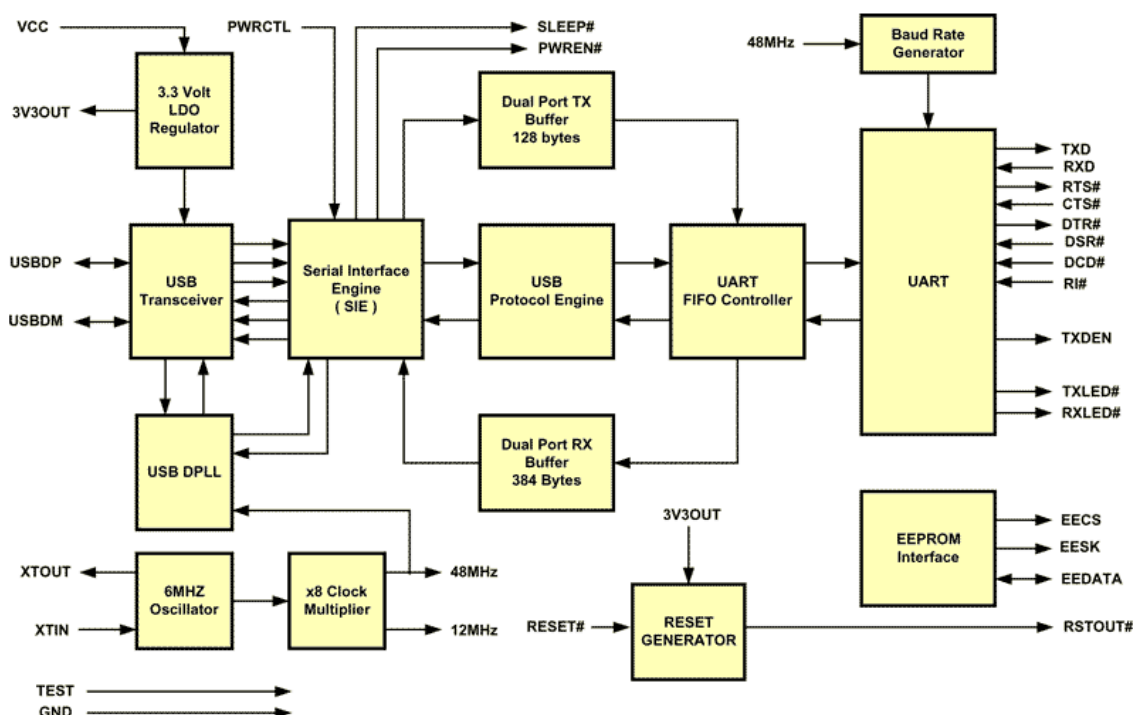
Pro navýšení daného napětí lze použít nábojové pumpy, pokud chceme komunikaci provést s mikrokontrolérem, který využívá jiných úrovní, např. TTL. Existují i proudové sběrnice této komunikace, kdy se využívá vedení pro dvě zařízení (RS-422), nebo adresovaná sběrnice (RS-485), obě jsou navíc určeny pro síťové přenosy dat.

$$u(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + u(0) \quad (\text{Rovnice 1})$$

1.3.2. USB

Komunikace USB neboli universální sériová sběrnice, umožňuje podobný typ připojení jako komunikace RS-232, ale s vyšší rychlostí, pro více zařízení současně v TTL logice. Navíc umožňuje okamžité odpojení. Odolnost je tu řešena ovšem jiným způsobem a to vedením dvojlinky pro datový přenos. [7]

Řešení synchronizace dat, jejich upřednostňování, zpracování a převodu na linku UART je znázorněno na Obr. 4.



Obr. 4: Blokové schéma hardwarové části USB [7]

1.3.3. Ethernet

Ethernet je rozšířená komunikace po síti LAN, která se využívá i v průmyslovém prostředí, díky její jednoduchosti a spolehlivosti. K podobným technologiím se pojili např. ARCNET, ATM a FDDI, které však nenabízeli takové možnosti jako již zmíněný Ethernet a tak zanikli.

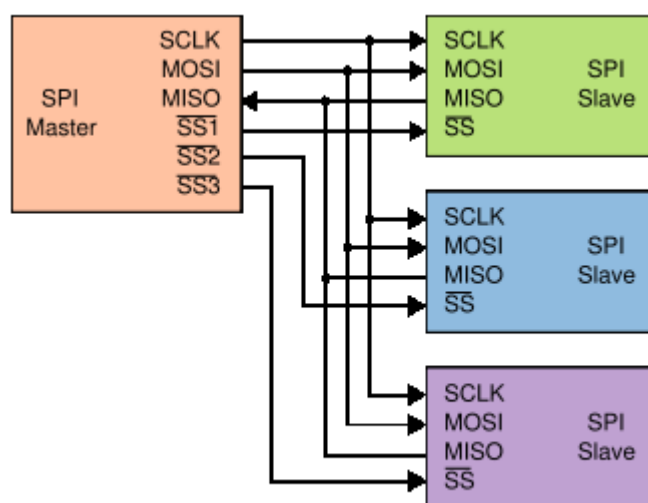
Tato komunikace probíhá v kabelu po kroucených dvojlinkách, obě strany jsou galvanicky odděleny transformátory s poměrem 1:1 a s izolační schopností minimálně 2,5 kV. Lze realizovat i za pomoci optického kabelu. Přenos dat je tak mnohem spolehlivější, než výše uvedené komunikace typu COM a USB, jeho nevýhodou je však časová synchronizace, která může být zpožděna až v řádech stovek milisekund pro připojení přes internet.



1.3.4. SPI

Tato komunikace je vhodná pro řadiče mikrokontrolérů. Slouží například k programování samotného MCU, ale taky k připojení komunikačních prvků, které daný MCU neobsahuje, např. již zmíněný COM, USB a Ethernet. Lze k němu připojit také grafický displej, teploměr a jiná zařízení komunikující po této sběrnici.

Komunikace probíhá na pinech MISO, MOSI, SS a SCLK. Jenda strana zařízení musí být nastavena jako Master a ovládá ostatní zařízení, zatímco zbylá komunikují jen na vyžádání a ti jsou nastaveny jako Slave. Piny MISO a MOSI slouží k obousměrné komunikaci, SS slouží k aktivaci komunikace a SCLK udává synchronizační impulzy, které udávají tempo přenosu dat. Čili rychlost přenosu je závislá pouze zařízení Master. Zařízení musí ovšem pracovat oproti stejnému vztažnému potenciálu.



Obr. 5: Připojení řadičů na SPI [8]

Na Obr. 5 je znázorněno připojení jednotlivých zařízení. Master může být např. MCU a jako Slave lze připojit řadič pro komunikaci po Ethernet a další.



Příklad použití komunikace SPI v procesorech AVR od firmy Atmel je uveden v katalogovém listu mikroprocesoru. A to jak v jazyce Assembler, tak i v jazyku C.

```
void SPI_MasterInit(void) // Nastavení řadiče SPI pro vysílání
{
    /* Nastaví MOSI a SCK jako výstupní, zbytek jako vstupy */
    DDR_SPI = (1<<DD_MOSI)|(1<<DD_SCK);
    /* Povolí SPI, Master, nastaví takt na fck/16 */
    SPCR = (1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR0);
}

void SPI_MasterTransmit(char cData) // Odešle znak „cData“ (char)
{
    /* Začne odesílat */
    SPDR = cData;
    /* Počká, než se vše odešle */
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
}

[5]
```

Výše uvedený program odešle data uložená v proměnné *cData*, která jsou uložena jako datový typ *char*, případně *Byte*. Tato procedira lze zacyklit tak, aby bylo možné odeslat delší datový řetězec jako například *Word*.

Dále lze data i odesílat, ale to musí být řadič SPI nastaven jako *Slave*. Toto přepínání není z pohledu řadiče ideálním řešením, ale z pohledu vývojáře je to jednodušší, protože zapojení řadičů zůstává stejné jak pro komunikaci mezi dvěma či více zařízeními. [5]



V následujícím příkladu je znázorněna komunikace pro příjem dat, tedy jako Slave režim.

```
void SPI_SlaveInit(void)    //Nastavení řadiče SPI pro příjem
{
    /* Nastaví MISO jako výstupní, zbytek, jako vstupy */
    DDR_SPI = (1<<DD_MISO);
    /* Povolí SPI, Slave */
    SPCR = (1<<SPE);
}

char SPI_SlaveReceive(void)    // Přijme znak SPDR (char)
{
    /* Počká, než se vše přijme */
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
    /* Výstupem procedury je registr SPDR */
    return SPDR;
}

[5]
```

Na výše uvedeném programu je uvedena procedura pro nastavení SPI řadiče pro příjem (v režimu Slave) a následně procedura, která obsahuje datový výstup Char, což je znak z ASCII tabulky.

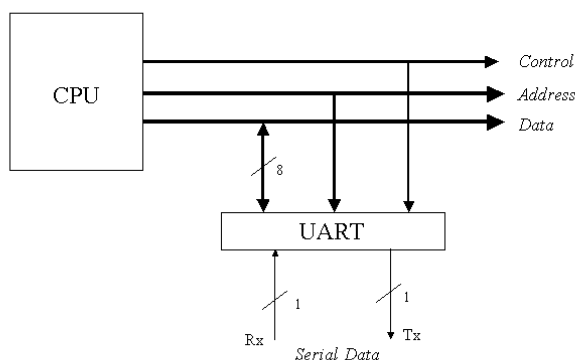


1.3.5. USART

Synchronní/asynchronní sériové rozhraní USART slouží k sériové komunikaci dvou zařízení po dvou datových vodičích. Jeho výhodou je jednoduché provedení a také je integrován téměř do každého MCU.

Komunikuje na pinech RxD a TxD, tedy na přijímacím a vysílacím kanálu. Jak je vidět, toto provedení není vhodné pro komunikaci více prvků, jelikož tu není definováno Master a Slave zařízení. Toto lze vyřešit přidáním dalšího přerušovacího signálu.

Tato komunikace je jen zjednodušená verze COM, kdy standardy komunikace jsou ponechány až na přenosovou rychlost, která je v tomto případě až třicetkrát rychlejší a probíhá v TTL logice. Je tak velice snadno zaměnitelná za komunikaci COM i USB za pomoci jednoduchého zařízení nazývaného interface, případně řadič. [5]



Obr. 6: Připojení více zařízení po komunikaci UART [9]

Na Obr. 6 je vidět samotné řešení připojení více zařízení. Kromě samotné komunikace je zde znázorněna adresace a kontrolní bit, umožňující zapínání a vypínání jakékoliv komunikace.



Rychlost přenosu dat řadiče USART je závislá na módu samotného řadiče a čítačů. Pro mikroprocesory AVR jsou v následující tabulce výpočty pro rychlost přenosů dat.

Tab. 2: Výpočet přenosové rychlosti přes USART [5]

Mód řadiče	Výpočet Baud Rate	Výpočet UBRR hodnoty
Asynchronní „Normal Mode“	$Baud = \frac{f_{osc}}{16(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{16 \cdot Baud} - 1$
Asynchronní „Double Speed Mode“	$Baud = \frac{f_{osc}}{8(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{8 \cdot Baud} - 1$
Synchronous „Master Mode“	$Baud = \frac{f_{osc}}{2(UBRR + 1)}$	$UBRR = \frac{f_{osc}}{2 \cdot Baud} - 1$

Hodnota *Baud* je v jednotkách bit/s a znázorňuje rychlost přenosu dat řadičem USART. Dalším parametrem je f_{osc} , což je frekvence oscilátoru mikroprocesoru, ta určuje rychlost řadičů i časovačů. Registr UBRR se skládá ze sub-registrů UBRRH a UBRRL o velikostech 6 bitů. UBRR tedy obsahuje celkem 12 bitů, což mu udává rozsah hodnot (0;4095). [5]

Při přenosech dat se projevují náběžné a sestupné hrany a dochází tak ke zpoždění odeslaných či přijatých dat. Výrobce tedy udává, že výsledná frekvence musí být maximálně čtvrtinová z frekvence oscilátoru.



Příklad pro nastavení řadiče USART níže uveden je opět uveden v katalogovém listu výrobce procesorů AVR.

```
#define FOSC 1843200    // Definice fosc
#define BAUD 9600      // Definice Baud
#define MYUBRR FOSC/16/BAUD-1    // Definice UBRR

void main( void )    // Hlavní program
{
    :.    // Libovolný začátek programu
    USART_Init (MYUBRR );    // Nastavit USART podle UBRR
    :.    // Libovolný konec programu
}

void USART_Init( unsigned int ubrr )    // Nastavení řadiče USART
{
    /* Nastavení Baud Rate */
    UBRRH = (unsigned char)(ubrr>>8);
    UBRL = (unsigned char)ubrr;
    /* Nastaví příjem a odesílání */
    UCSRB = (1<<RXEN)/(1<<TXEN);
    /* Nastaví formát dat: 8data, 2stop bit */
    UCSRC = (1<<USBS)/(3<<UCSZ0);
}

[5]
```

Na tomto příkladu je znázorněno, že jednou v běhu programu nastavíme řadič USART a až pak teprve lze manipulovat s přijímanými či odesílanými daty. Tyto data musíme však nějak získat a to je znázorněno v dalším příkladu. [5]



Tento příklad obsahuje typické řešení pro odesílání a příjem dat přes asynchronní linku.

```
void USART_Transmit( unsigned char data )    // Vysílání „data“
{
    /* Vyčkání na vyprázdnění zásobníku */
    while ( !( UCSRA & (1<<UDRE)) )
    ;
    /* Vložit „data“ do zásobníku a odeslat */
    UDR = data;
}

unsigned char USART_Receive( void )    // Příjem dat
{
    /* Vyčkání na příjem dat */
    while ( !(UCSRA & (1<<RXC)) )
    ;
    /* Vyčíst data ze zásobníku a vrátit znak*/
    return UDR;
}
[5]
```

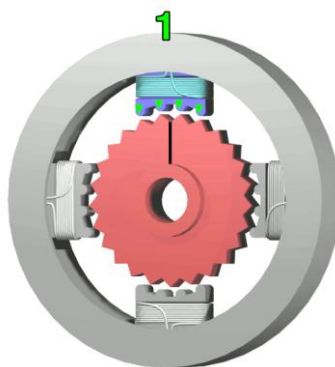
Příklad předchozího programu demonstruje příjem a odesílání dat o délce 8 bitů (char, byte). Tyto procedury lze opět vložit do cyklu pro řetězec znaků. Proceduru pro příjem lze vložit do vektoru přerušení, který se vyvolá, jakmile se změní stav pinu na RxD z jedničky na nulu. [5]



1.4. Krokový motor

Tento typ motoru je vhodný pro regulaci nejen rychlosti otáček, ale i pro regulaci úhlu natočení. Využívá více pólového zapojení cívek a jejich postupným spínáním se rotor pootočí o úhel jednoho kroku.

Počet kroků na otáčku je dáno počtem pólů. Tato informace je dána výrobcem na štítku zařízení.



Obr. 7: Realizace krokového motoru [10]

Na výše uvedeném obrázku je vidět rozložení cívek motoru a provedení jeho rotoru. Cívky lze spínat unipolárně, nebo bipolárně. Unipolární zapojení přivádí do jednotlivých cívek proud jedním směrem, jeho výhodou je jednoduché zapojení. Bipolární zapojení přivádí k cívce proud jedním i druhým směrem a zvýší tak krouticí moment krokového motoru, i jeho dynamika má lepší parametry, nevýhodou je složitější zapojení.

Počet kroků tohoto motoru lze rozšířit za pomoci tzv. mikro-kroků, které lze realizovat PWM (pulzně šířková modulace). Ta nám dokáže střídáním napětí na cívkách nastavit rotor do polohy mezi cívkami.

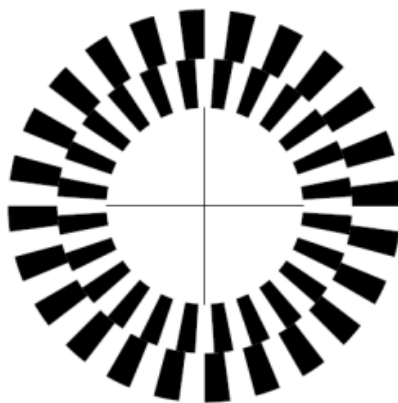


1.5. Rotační čidlo

Tyto čidla slouží k odečtení skutečného natočení motoru pro zpětnou vazbu. Jejich zpracování je řešeno optickými mřížkami a to buď s inkrementálním výstupem, či s absolutním výstupem. Každé čidlo má určitý počet kroků na otáčku, což udává přesnost odečtení úhlu natočení.

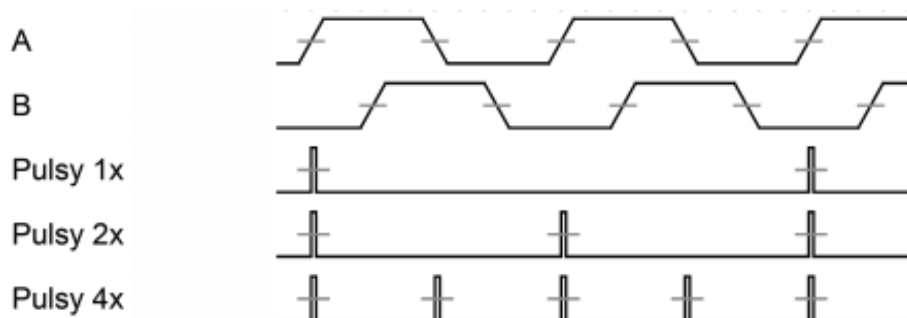
1.5.1. Inkrementální rotační čidlo

Známý také pod zkratkou IRC (Incremental Rotary Coder). Využívá stínítka, které je vidět na Obr. 8. Dva světelné zdroje (LED) osvětlují každou část stínítka. Ve světlých místech svítí skrz stínítko, v tmavých místech je světlo pohlceno.



Obr. 8: Optické stínítko IRC [11]

Poté vypadají výstupy následně jako na Obr. 9, kde je vidět fázový posun, ten udává směr otáčení. Frekvence signálů udává rychlost otáčení.



Obr. 9: Průběhy impulzů IRC [11]

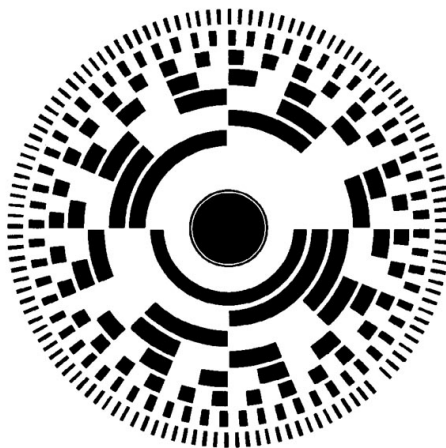


Má-li čidlo n impulzů na otáčku, lze tuto přesnost zjemnit. Lze totiž reagovat na jeden ze signálů, kde si vybereme jednu z hran a v danou chvíli přečteme stav druhého signálu. Takto získáme počet impulzů na otáčku, který udává výrobce, budeme-li ale reagovat na obě hrany, získáváme dvojnásobnou přesnost natočení, čili $2n$. To samé můžeme ale provést i s druhým signálem a porovnávat oba signály v závislosti na sestupnou i náběžnou hranu z každého signálu, pak získáváme až čtyřnásobnou přesnost natočení rotoru, čili $4n$. [12]

Při výpadku napětí a po jeho následném zapnutí však nelze zjistit, v jakém úhlu natočení se rotor nachází. V aplikacích, kde se motor otáčí vícekrát je tento problém u všech snímačů a pak se používá právě IRC, který patří k levnějším.

1.5.2. Absolutní rotační čidlo

Využívá také stínítka, které osvětlují světelné zdroje, ale v tomto případě je zde využito více světelných zdrojů (čím více, tím přesnější). Jak je vidět na stínítku na Obr. 10. Výstupem tohoto čidla je Grayův kód, který vyjadřuje v binárním čísle stav natočení rotoru. Zde už však není žádná možnost zvýšení přesnosti.



Obr. 10: Optické stínítka absolutního čidla [11]

Tyto čidla jsou využívána spíše v aplikacích, kde je možnost natočení pouze do jedné otáčky, což jsou například ventily. Jeho nevýhodou je však velké množství vodičů.



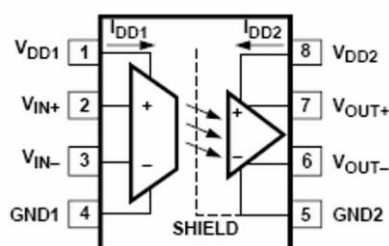
1.5.3. Rotační čidla závěrem

Rotační čidla jsou v poslední době už vybavena zpracovávací elektronikou a jejich výstupy jsou často přenášeny po komunikaci RS-232, RS-485 apod. Zda čidla pracují principiálně jako inkrementální nebo absolutní lze rozeznat už jen podle štítku. Na druhou stranu někteří výrobci vyvádějí kromě samotné komunikační sběrnice i samotné inkrementální či absolutní výstupy. V těchto případech je pak velké množství způsobů jak změřit úhel natočení.

1.6. Optické oddělení

Oddělení dvou elektrických signálů za pomoci optických signálů je vhodné v případě, kdy je nutné oddělit různé části elektroniky od sebe z důvodu ovlivnění zkratů apod. Nastane-li v jednom z prvků zkrat, přepětí apod. ovlivní to i zbytek elektroniky. Pokud se ale ve vhodných místech oddělí tyto signály, dané prvky pracují naprosto nezávisle. [12]

Strategická místa pro optická oddělení jsou především komunikační či spínací prvky. U komunikačních prvků ovšem nastává problém s rychlostí přenosu dat. Zde je nutné použít hradlové optočleny, které jsou nejen rychlejší, ale také obsahují částečnou kompenzaci strmosti hran.



Obr. 11: Hradlový optočlen [13]

Pro spolehlivý, opticky oddělený přenos po kabelu, který může být velice rušen, je vhodné využít hradlového optočlenu, který využívá vedení kroucené dvojlinky.

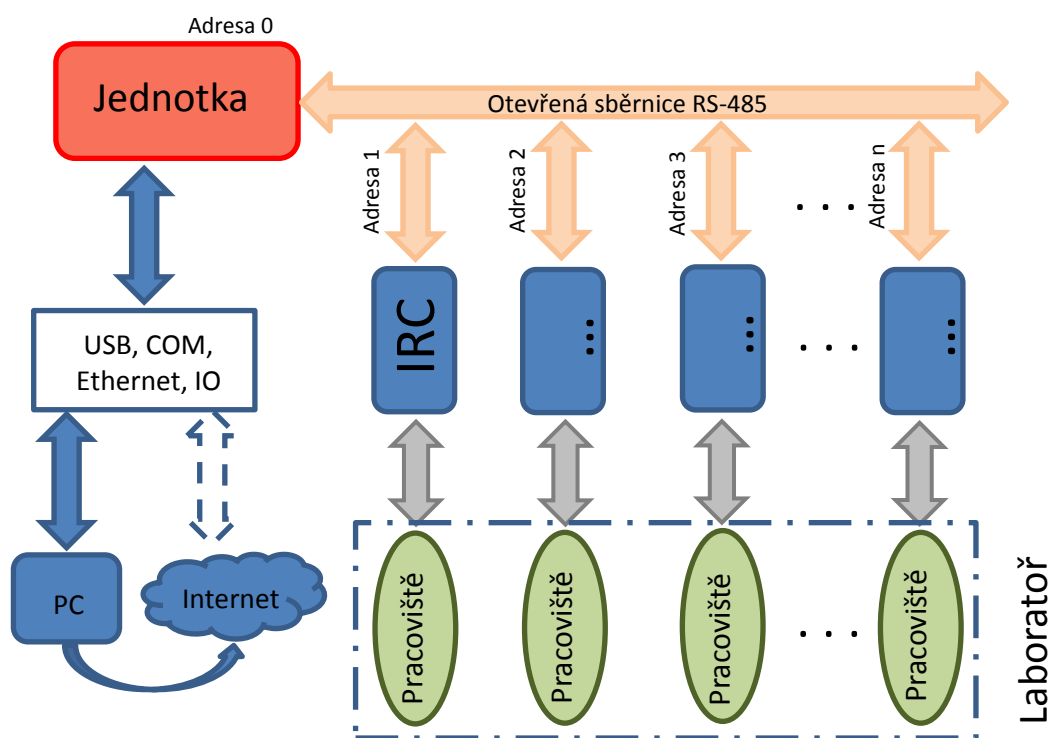


2. Návrh zapojení

Aby mohl být systém kdykoli rozšířen, případně modifikován, bylo by nejvhodnější mít veškerá pracoviště nezávislá na sobě a komunikovala by s jednotkou. Ta má za úkol přeposílat data na správná místa a to obousměrně.

Program běžící na počítači bude vzdáleně ovládán a současně bude ovládat jednotlivé přípravky skrz jednotku. Data z měřících přístrojů budou sbírána také tímto programem případně samotným přípravkem.

Obecný návrh celého systému je znázorněn na Obr. 12. Úkolem je tedy zvolit vhodnou sběrnici, navrhnout jednotku komunikující s PC a také navrhnout přípravek pro úlohu Měření úhlu natočení pomocí IRC.



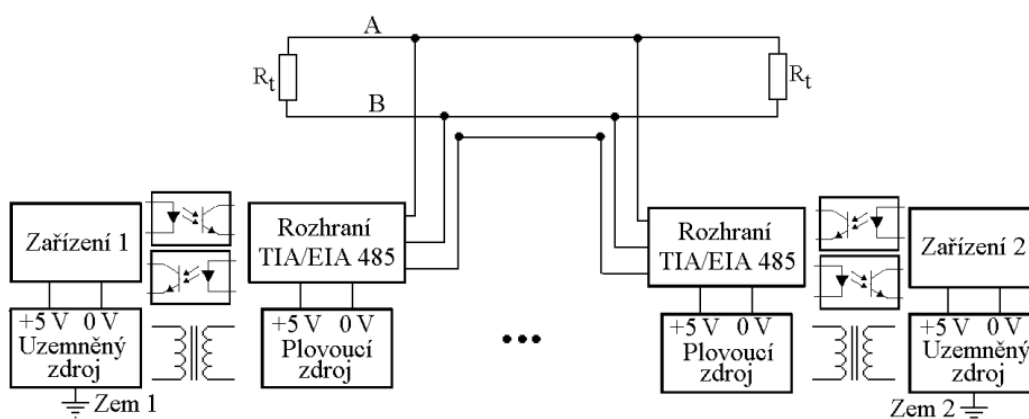
Obr. 12: Blokové schéma obsazení laboratoře



2.1. Sběrnice

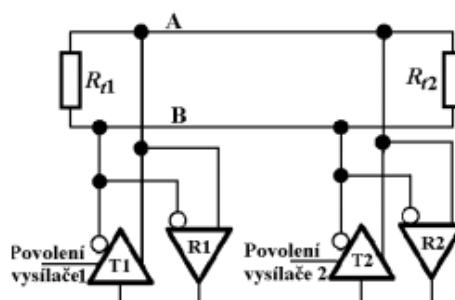
Její podstata spočívá v tom, že na ní lze zapojit libovolný počet zařízení, která pracují nezávisle na sobě a komunikují pod jedním společným médiem. Existuje spousta druhů sběrnic. Některé jsou určeny pro interní komunikaci, čili na jedné desce, případně v jednom zařízení a některé jsou určeny pro vnější komunikaci různých zařízení, které mohou být napájeny i oddělenými zdroji. [1]

V našem případě není důležitá rychlost dat, ale spíše spolehlivost a jednoduchost sběrnice. Aby tu byla možnost komunikace mezi více zařízeními a to naprosto galvanicky oddělenými navzájem, bylo rozhodnuto pro využití sběrnice TIA/EIA 485, tedy RS-485.



Obr. 13: RS-485 s galvanickým oddělením [1]

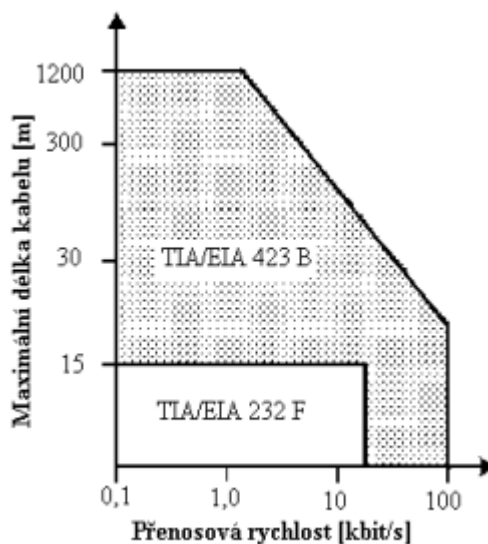
Na Obr. 11 je znázorněno zapojení sběrnice RS-485 v režimu Half-Duplex. Obvod pracuje tak, že porovnává rozdíl potenciálů na signálech A a B. Zda jde o vstup či výstup určuje vnitřní signál, který přepíná hradla.



Obr. 14: Realizace hradel v RS-485 [1]



Povolováním, či zakazováním vysílacích hradel, případně i přijímacích hradel lze snadno změnit směr toku dat a ušetřit tak dva vodiče na sběrnici. Spolehlivost přenosu dat je zaručena dvojlinkou, do které se mnohem hůře promítne rušení z okolí.



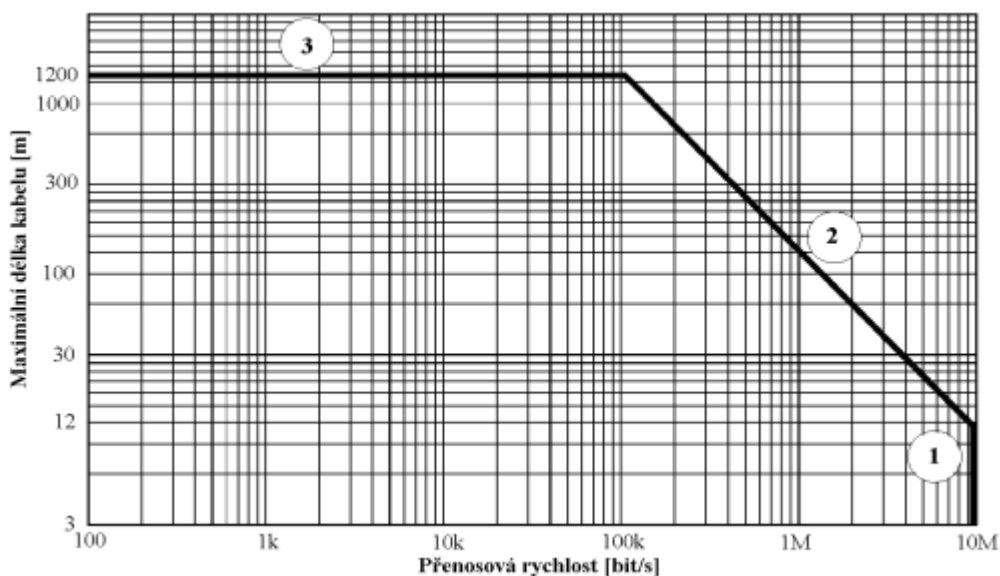
Obr. 15: Závislosti délky vodičů na přenosové rychlosti [1]

Z grafu na Obr. 15 jsou jasně patrné výhody rozhraní TIA/EIA 423 B oproti TIA/EIA 232 F. RS-485 vychází z rozhraní TIA/EIA 423 B, její rychlostní i vzdálenostní parametry jsou ve všech ohledech lepší než původní TIA/EIA 232 F.

U rozhraní TIA/EIA 485 B by mělo být rozdílové napětí na výstupu při plném zatížení minimálně 1,5 V. Sběrnice je na začátku a na konci opatřena odporem 120 Ω, který kompenzuje impedance vstupů přijímačů. Dle normy smí tato sběrnice nosit až 32 přijímačů se vstupním odporem 12 kΩ. Zvětšením tohoto odporu však lze zvýšit počet zařízení. Jsou dostupné obvody s osm-krát vyšším vstupním odporem a lze tak rozšířit počet zařízení na 256. [1]

Na následujícím Obr. 16 je vidět závislost délky vodičů na přenosové rychlosti pro RS-485. Jedná se o orientační průběh, který nám udává omezení délky vodičů i šířky pásma.

Obecně platí $Baud \cdot l_{vodič} \leq 1,2 \cdot 10^8$, kde *Baud* je rychlost přenosu v bit/s, $l_{vodič}$ je délka komunikačního vodičev metrech.



Obr. 16: Závislost délky vodičů na přenosové rychlosti RS-485 [1]

RS-485 má mnohem širší pásmo přenosové rychlosti oproti jeho předchůdci TIA/EIA 423 B. Lze dosáhnout až 10 Mbps, dosah vodičů však zůstává. Ta je omezena jejich kapacitou, u nízkokapacitních vodičů lze tuto vzdálenost při nižších rychlostech prodloužit až na 5000 m.

První část grafu odpovídá stavu, kdy se ještě vliv zkreslení neprojevuje při dané rychlosti. Druhá část grafu znázorňuje stav, kdy je třeba měnit délku vodiče v závislosti na přenosové rychlosti. Třetí část grafu ukazuje omezení délky vodiče, i když se přenosová rychlost snižuje. Tento jev je dán pouze úbytky napětí na vodičích. První část grafu lze ovlivnit rychlostí hradel, druhá část grafu lze ovlivnit kapacitou vodičů a třetí část lze ovlivnit odporem vodiče. [1]

$$\text{Rychlost šíření dat vodičem je dán vztahem: } v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{Rovnice 2})$$



2.2. Jednotka

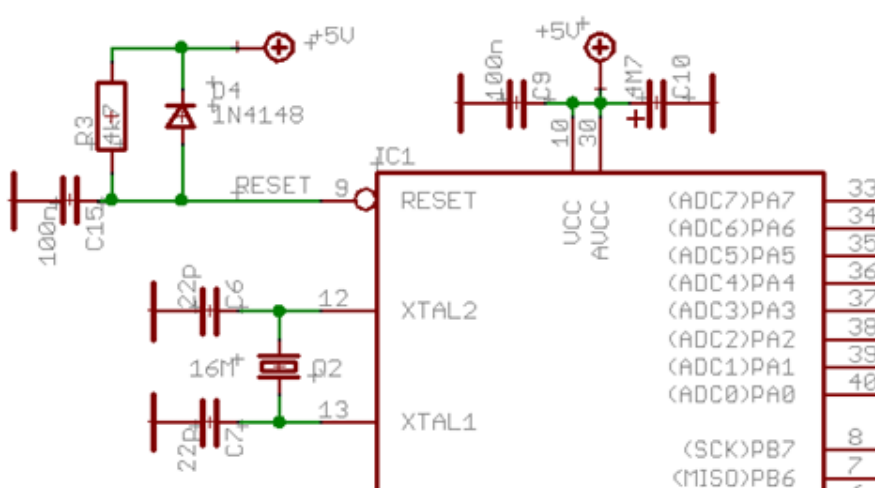
Řídicí jednotka by měla dle návrhu zpracovávat data mezi PC a zařízeními, která budou obsluhovat jednotlivá pracoviště – viz. Obr. 12. Jejím úkolem bude adresace a řízení celkové komunikace na sběrnici. Komunikačních portů mezi PC a jednotkou může být více, například COM, USB, LAN.

Jednotka by měla obsahovat optické oddělení, programování procesorů přímo z desky a případný spínací prvky.

2.2.1. Zapojení mikroprocesoru

Zapojení AVR mikroprocesoru řady ATmega je znázorněno na Obr. 17. Vlastní spotřeba čipu je malá. V aktivním režimu 1,1 mA a v Idle Modu (úsporný režim) pouze 0,35 mA. Každý z výstupů dosahuje proudového zatížení až 25 mA.

Reset pin vynuluje registry a spustí program z paměti FLASH od počátku. Při podržení RESETu lze MCU programovat, či ho jen pozastavit hardwarově. Tento kontakt je zapojen tak, že při přepětí či podpětí se resetuje sám. Lze tam přidat tlačítko, pro manuální reset.



Obr. 17: Zapojení mikroprocesoru

Na Obr. 17 je hodinový signál (takt) řešen pomocí krystalu a odrušovacích kondenzátorů. Krystal je kvalitní zdroj hodinového signálu o konstantní frekvenci. Procesory lze taktovat pomocí: externího krystalu, přídavného externího nízkofrekvenčního krystalu 32,768kHz pro RTC (Real Time Counter), externího RC



oscilátoru, interního kalibrovaného RC oscilátoru, externího zdroje taktovacího kmitočtu, který se zapojuje pouze na pin XTAL2 vůči společné zemi.

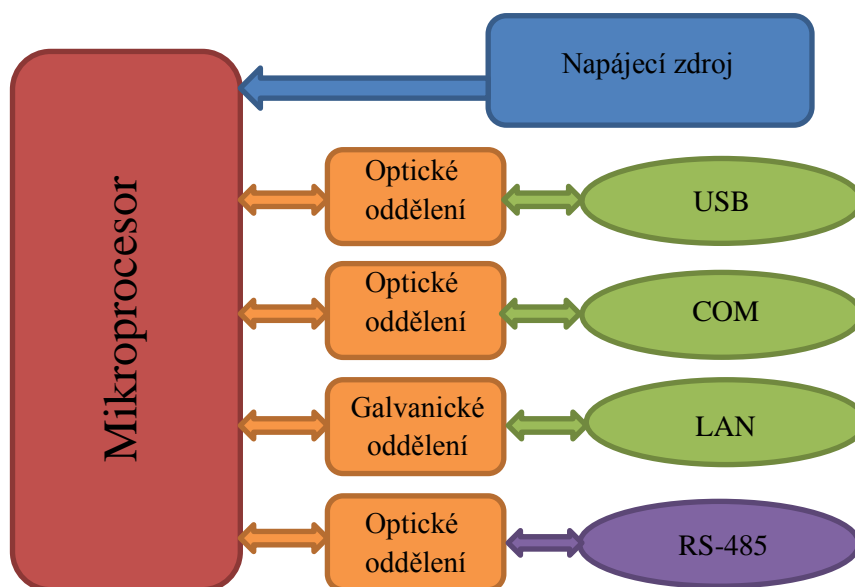
Zakreslené kapacity včetně krystalu je vhodné na desce plošných spojů zapojit co nejbližší ke kontaktům mikroprocesoru.

2.2.2. Taktování mikroprocesoru

Taktování procesorů je důležité zejména kvůli chodu: časovačů, čítačů, převodníků, jader, pamětí, watchdogu (kontrola chodu MCU), ale zejména kvůli rychlosti jeho cyklů.

Výběr zdroje taktovacího kmitočtu se provádí pomocí tzv. Flash Fuse Bits při paralelním nebo sériovém programování MCU. Standardně je nový MCU dodáván s nastaveným interním RC oscilátorem 1 MHz.

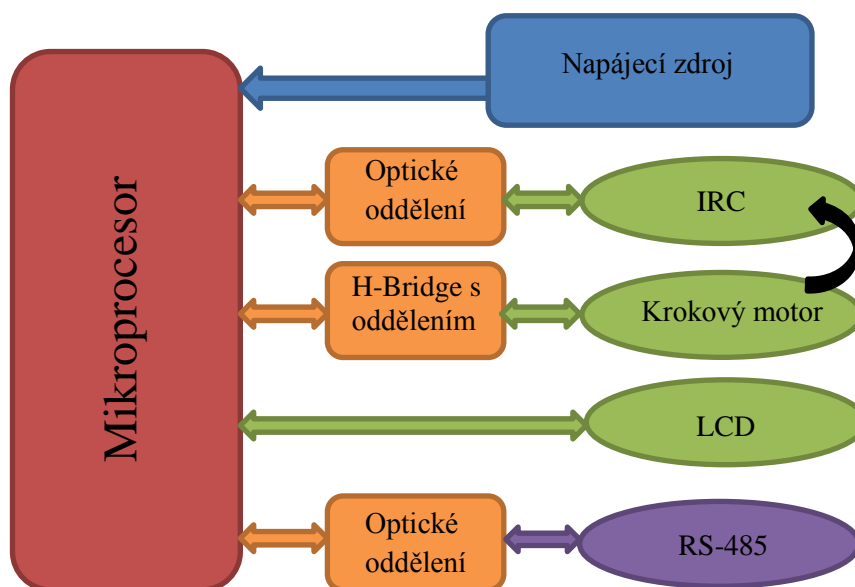
Doporučená hodnota odrušovacích kondenzátorů je 12 až 22 pF (v závislosti na taktu). Hodnoty obou kondenzátorů musí být stejné.



Obr. 18: Blokové schéma řídicí jednotky

2.3. Přípravek na pracovišti

Tento přípravek má za úkol ovládat krokový motor a následně měřit impulsy z inkrementálního čidla. Tyto údaje bude zobrazovat na displeji a na požádání je zašle řídicí jednotce.



Obr. 19: Blokové schéma přípravku na pracovišti

2.3.1. Krokový motor

Tento typ motoru umožňuje polohování, a tak je vhodný pro natáčení senzoru IRC. Zapojení jeho cívek lze realizovat za pomoci tranzistorového můstku jako bipolární řešení či spínání cívek k zemi, čili jako unipolární řešení. Jeho regulace otáček je přímo úměrná frekvenci přepínání polarit cívek.

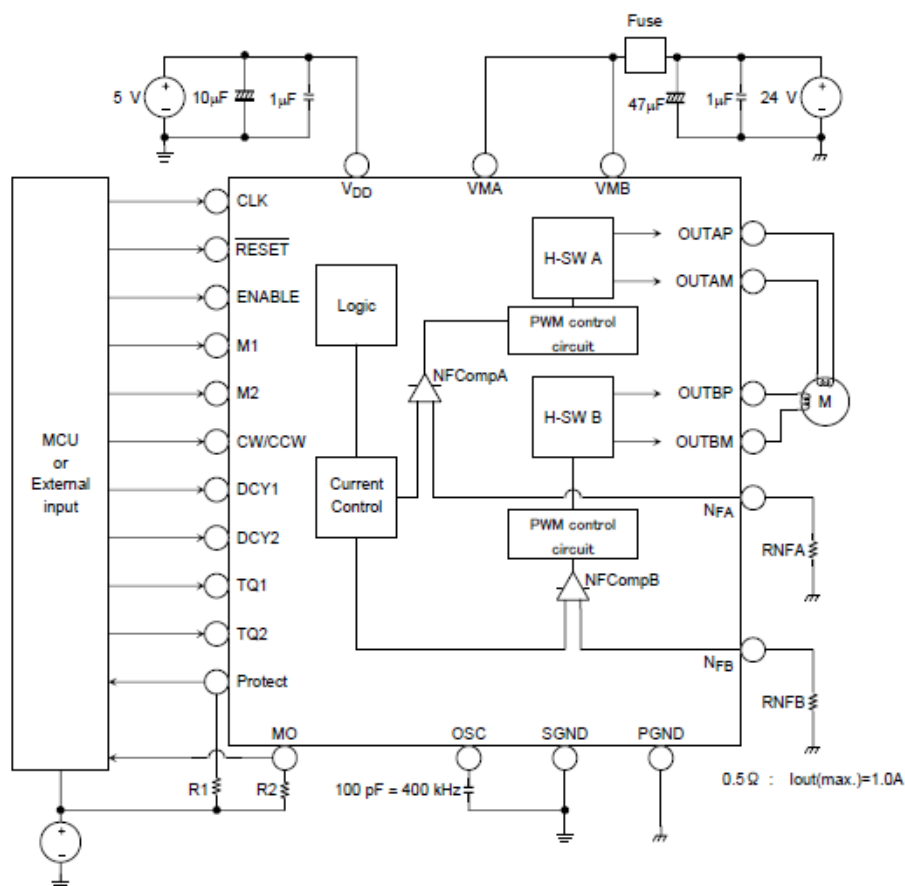
Rotor je reluktanční, což znamená, že není hladký, ale naopak má obdélníkový povrch, který zajišťuje dvě vzdálenosti mezi rotorem a statorem. Toto uspořádání umožňuje uzavírání magnetického obvodu přes co nejkratší dráhu a to mezi cívkou a jedním z magnetických pólů. Počet reluktančních výčnělků musí mít jiný počet, než je počet zapojených cívek ve statoru.



Polohování krokového motoru je velice jednoduché, ovšem jeho nevýhodou je nízká dynamika a nesouvislý moment na hřídeli, ten lze souvisle měnit pouze za použití mikro krokování.

$$\phi = \oint_{\Sigma} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (\text{Rovnice 3})$$

$$\phi = LI \quad (\text{Rovnice 4})$$



Obr. 20: Ovládání krokového motoru [14]

Na Obr. 20 je blokové schéma obvodu TB6560AH pro ovládání krokového motoru. V našem případě je vhodný pro krokování daného motoru. Jeho silová část obsahuje dva plné H-Můstky, které mění polaritu jednotlivých cívek krokového motoru. Tento produkt je kompatibilní s RoHS. Hlavní přednosti tohoto integrovaného obvodu jsou PWM budiče H-Můstků, hlídání kolizí tranzistorů. Měří proudy cívkami a lze nastavit několik hodnot maximálního proudového omezovače. Při přehřátí obvod



rozpojí svou silovou část a signálem oznámí tento stav. Umí nastavit mikro krokování ve čtyřech režimech a to až do šestnácti mikro kroků.

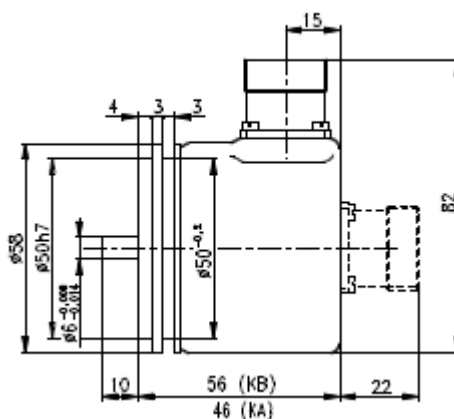
$$n = \frac{CLK}{60 \cdot k_{kroky}} [min^{-1}] \quad \text{(Rovnice 5)}$$

Ovládání krokového motoru za pomoci tohoto obvodu je jednoduché. Spočívá pouze v nastavení počtu mikro kroků, maximálního napětí, povolení chodu a následně jen určení směru jedním signálem. Dalším signálem čítáme počet kroků, respektive mikro kroků.

2.3.2. Rotační čidlo

Inkrementální čidlo v současnosti již je na pracovišti. Jeho rozměry a provedení lze vidět na Obr. 21 a jeho výstupní signály na Obr. 22. Hřídelka rotačního čidla bude napojena na hřídelku krokového motoru a bude jej přímo natáčet.

Toto rotační čidlo obsahuje dvojlinku na každém signálu, jeho napájení je 5 V a jeho počet impulsů na otáčku je 3600. Čidlo nese označení IRC 305-3600. [15]



Obr. 21: Rozměry rotačního čidla IRC 305 [15]

Výstupní signály jsou vedeny v párech kvůli omezení rušivého účinku z okolí a možnosti vedení delších vodičů.

Signály jsou zde pojmenovány jako 1, 2 a 3, ale odpovídají standardnímu označení A, B a Z. Jestliže uvažujeme, že jeden signál trvá 180°, tak druhý signál předbíhá první signál o 90° v jednom směru a naopak. Při změně směru se přesouvá vždy druhý signál vůči prvnímu o 180°, nikdy to nesmí být zaměněno. Třetí signál se

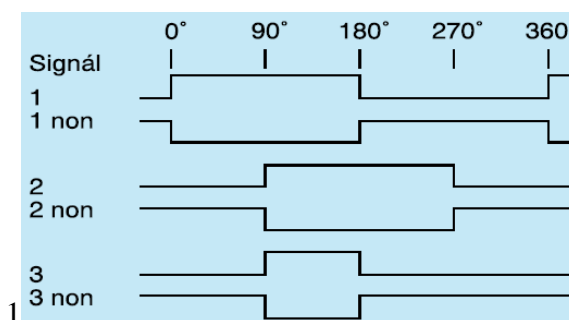


objeví po dobu 90° v době kdy se hřídelka natočí do nultého stupně, čili jednou za otáčku. Toto slouží k synchronizaci počtu impulsů mikroprocesoru či jiného obvodu.

$$p_{imp} = n \cdot p_{clonka} \quad (\text{Rovnice 6})$$

$$r = \frac{360}{p_{imp}} \quad (\text{Rovnice 7})$$

Dle vzorce p_{imp} je počet výstupních impulsů na otáčku, n je násobné měření (1, 2, nebo 4), p_{clonka} je počet impulsů ve clonce na otáčku. V dalším vzorci r je rozlišení.



Obr. 22: Signály inkrementálního čidla [15]

Čítání impulsů lze realizovat několika způsoby. Nejjednodušším způsobem je tzv. jednonásobné měření. To probíhá tak, že reagujeme na náběžnou hranu prvního signálu, neboli A signálu, a následně čteme stav druhého signálu, respektive B signálu. Pokud je tento druhý signál v nultém stavu (Low), inkrementujeme natočení v jednom směru. Je-li tento signál v nastaveném stavu (High), inkrementujeme natočení v druhém stavu, respektive dekrementujeme natočení v jednom směru.

Další metoda je obdobná. Předěslé jednonásobné měření zanecháme, jak je popsáno, a k tomu přidáme reakci na sestupnou hranu v prvním signálu, kde inkrementace či dekrementace bude probíhat na opačné stavy.

Třetí a také poslední zde zmiňovaná metoda, čtyřnásobná, je opět obdobná. Předěslé dvě metody opět zanecháme, jak jsou, a přidáme k nim reakci na náběžnou i sestupnou hranu, ale v druhém signálu a veškeré inkrementace a dekrementace opět provádíme opačně vůči prvnímu a druhému signálu.

První metoda měření je vhodná v případě, kdy rotační čidlo samo o sobě dostahuje přesností. Odlehčuje tak časové vytížení měřicího obvodu. Pokud je v našem případě 3600 impulsů na otáčku dostačující, ponecháme tuto metodu.

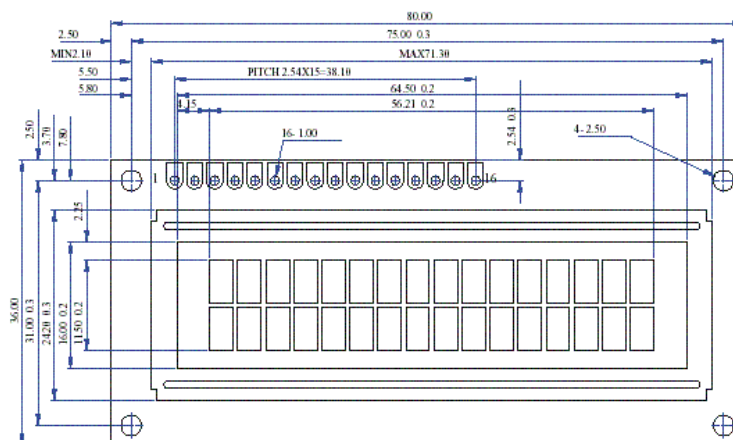


Druhá metoda je málo používaná v praxi. Měří dvojnásobně inkrementální impulsy, a tudíž zdvojnásobuje přesnost měření natočení úhlu. Pokud máme tedy 3600 impulsů na otáčku, lze je takto vytáhnout na 7200 impulsů na otáčku. Proč se moc nepoužívá v praxi, vysvětluje následující metoda.

Třetí metoda měření je čtyřnásobná a jak už sama o sobě napovídá, zpřesní nám čtyřikrát měření úhlu natočení. Pokud máme tedy čidlo s 3600 impulsy na otáčku, získáme z této metody až 14400 impulsů na otáčku. Tato metoda je nejpřesnější, ale zároveň nejvíce využívá čas měřeného obvodu. Pokud vyžadujeme nenáročnost měření, využijeme jednonásobné měření, v opačném případě kdy máme k dispozici dost procesorového času, využíváme přesného čtyřnásobného měření, kdy se přesnost nekompromisně zvyšuje a dvojnásobné měření je tak neekonomické z pohledu kvality a ceny, kdy nám o mnoho klesne kvalita polohování a to za malý zlomek ceny pro obvod měření úhlu natočení.

2.3.3. Displej

Poloha hřídelky inkrementálního čidla natočení bude zobrazována na displeji přímo v přípravku. Pro zobrazování hodnot natočení hřídelky bude postačovat znakový LCD. Nejčastější typy obsahují řadič HITACHI HD44780. Ten má často vyvedené kontakty: GND (0 V), Vcc (5 V), Kontrast (0 až 5 V), Register Select (určuje, zda se zapisují data či znaky), Read/Write (čtení či zápis na displej), Enable (zápis/čtení dat na vzestupnou hranu), DB0-DB7 (datové bity), anodu a katodu (pro podsvícení displeje).



Obr. 23: Znakový displej [16]



3.Realizace

K realizaci bylo zapotřebí využít několika programů pro tvorbu plošných spojů a k naprogramování mikroprocesorů. Jelikož veškeré objednávky nebyly doručeny v čas a kompletní, proběhla realizace pouze v těchto programech.

Byl použit program Eagle od firmy CAD Soft, který lze stáhnout i ve volně dostupné verzi. Jeho hlavní funkce jsou tvorba knihoven pro součástky, kde je definovaná schématická značka, fyzická podoba součástky, tedy pouzdro a následně provázání mezi schématem a pouzdrem součástky. Dále umožňuje kreslení schématu, a tvoření plošného spoje až v šestnácti vrstvách. Umí pohlídat některé rozměry na desce, tudíž po zadání parametrů výrobní schopnosti dané výrobní laboratoře, lze zkontrolovat, zda je deska připravena k výrobě. Program Eagle obsahuje i CAM Procesor, který má na starosti vygenerovat výrobní data například v podobě Excelon (vrtání) a Gerbery (spoje, potisky apod.)

Dalším softwarem, který je za potřebí k realizaci, je AVR Studio od firmy Atmel. Ten je ke stažení zcela zdarma pro nekomerční účely po registraci. Tento software umožňuje psaní kódu v jazyce Assembler a C. Obsahuje interní překladač pro Assembler. Pro překládání jazyka C využívá externího Open Source aplikace WinAVR, který je také volně ke stažení. Program dále podporuje zhruba desítku protokolů pro komunikaci s programátory, jenže některé z nich jsou opět Open Source. Obsahuje i nástroje pro pohodlnější práci a odladování chyb (tzv. Debugging).

Ovládání jednotky ze strany počítače, bylo řešeno v bakalářské práci, která běžela paralelně s touto prací. Její software byl naprogramován v jazyce Pascal pod programem Delphi. Samotný vzdálený přístup k této aplikaci přes internet byl již řešen v jiné předchozí bakalářské práci.



3.1. Návrh plošných spojů

Při návrhu plošných spojů je třeba dbát na parazitní vlivy při nesprávném tažení vodičů. Byl zde brán v úvahu odpor vodiče R , kde započítána délka vodiče l , šířka vodiče w , tloušťka měděné vrstvy t , plocha průřezu vodiče S a proudová hustota vodiče ρ .

$$R = \rho \cdot \frac{1}{S} = \rho \cdot \frac{1}{tw} [\Omega] \quad \text{(Rovnice 8)}$$

Také je důležitý odpor mezi dvěma vodiči s průměrem $2r$ a se vzdáleností d .

$$R = \frac{\rho}{\pi t} \cdot \ln\left(\frac{d}{r}\right) [\Omega] \quad \text{(Rovnice 9)}$$

Skin efekt je vytlačování elektrického proudu k povrchu vodiče. Ten je dán následujícím vztahem. Výsledkem je vzdálenost od povrchu vodiče, kde klesne proudová hustota na $\frac{1}{e}$, což zhruba odpovídá 37 %. [17]

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot f}} = K \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} [m] \quad \text{(Rovnice 10)}$$

Mezi vodiči vznikají i parazitní kapacity. Například kapacita dvou plošných spojů, které jsou nad sebou lze vyjádřit vztahem::

$$\frac{C}{l} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot K_{cl} \cdot \frac{w}{h} [F/m] \quad \text{(Rovnice 11)}$$

Parazitní kapacita mezi plošnými vodiči taženými vedle sebe:

$$\frac{C}{l} = \frac{\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r(\text{eff})}{\ln\left(\pi \cdot \frac{d-w}{w+t} + 1\right)} [F/m] \quad \text{(Rovnice 12)}$$

Mezi další parazitní parametry patří indukčnost vodiče. Ta ovlivňuje zpoždění a náběh proudů. V komunikačních vodičích tak může způsobit opoždění dvou linek, které jsou navzájem synchronní. Indukčnost přímého plošného vodiče lze vyjádřit vztahem:



$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{2\pi} \cdot l \cdot \left[\ln \left(\frac{2l}{t+w} \right) + 0,5 + 0,2235 \cdot \frac{t+w}{l} \right] [H] \quad (\text{Rovnice 13})$$

Indukčnost mezi dvěma vodiči nad sebou:

$$\frac{L}{l} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{K_{L1}} \cdot \frac{h}{w} [H/m] \quad (\text{Rovnice 14})$$

Kvůli parazitním vlivům je nutné navrhnout blokovací kondenzátory. Jsou tři typy těchto kondenzátorů, a to filtrační, což je širokopásmový filtr pro napájení celé desky, či její části. Lokální blokovací kondenzátor eliminuje impulsní proudy a slouží jako lokální zdroj energie například pro integrované obvody. Skupinové blokovací kondenzátory slouží jako zdroj několika kapacitních zátěží. [17]

Výpočet lokálního blokovacího kondenzátoru:

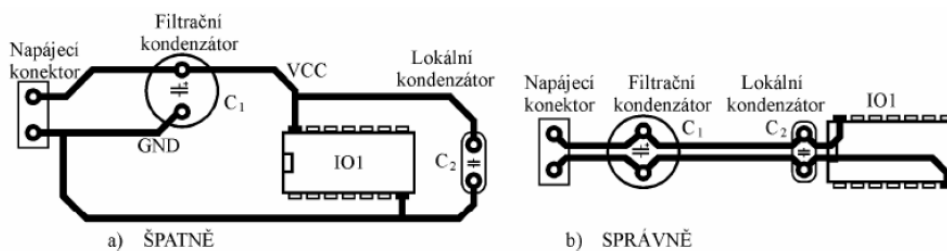
$$C_{\text{lokální}} = \frac{dI}{\frac{\Delta U}{\Delta t}} [F] \quad (\text{Rovnice 15})$$

Výpočet skupinového blokovacího kondenzátoru:

$$C_{\text{skupinový}} = \frac{C_L \cdot \frac{\Delta U_{CL}}{\Delta t}}{\frac{\Delta U}{\Delta t}} = \frac{C_L \cdot \Delta U_{CL}}{\Delta U} [F] \quad (\text{Rovnice 16})$$

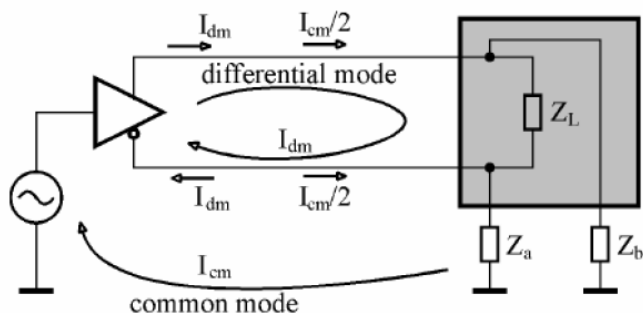
Jak již bylo na výrazech dokázáno, že parazitní vlivy jsou ovlivněny způsobem, jak jsou vodiče na plošném spoji uspořádány. Z tohoto důvodu není možné navrhovat plošné spoje co nejjednodušeji, ale je nutné, aby byli co nejkratší, případně aby vzdálenosti mezi napájecími kontakty byly co nejmenší. Z tohoto důvodu je rozmístění součástek velice důležité. [17]

Na následujícím obrázku je příklad nesprávného a správného návrhu plošných spojů. V tom nesprávném případě vznikají příliš velké plochy mezi vodiči a tak se tu projevují parazitní kapacity.



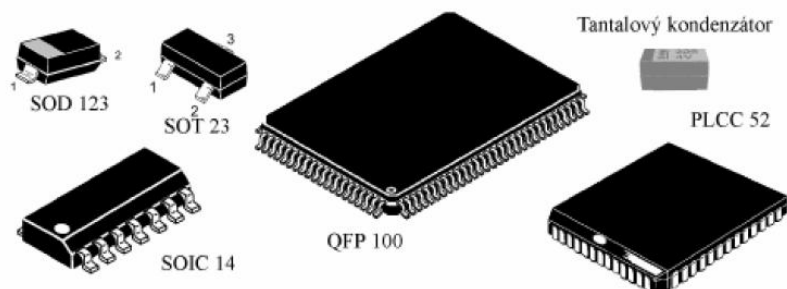
Obr. 24: Nesprávný a správný návrh plošných spojů [17]

Velice účinné řešení, které eliminuje parazitní vlivy, je proudová dvojlinka. Její okruh je stále zatěžován proudovým zdrojem, který na ní udržuje dva potenciály s úbytkem napětí buď v jedné či druhé polaritě.



Obr. 25: Diferenciální proudová linka [17]

Velice účinné řešení, které eliminuje parazitní vlivy, je proudová dvojlinka. Její okruh je stále zatěžován proudovým zdrojem, který na ní udržuje dva potenciály s úbytkem napětí buď v jedné či druhé polaritě.



Obr. 26: Pouzdra s povrchovou montáží [17]

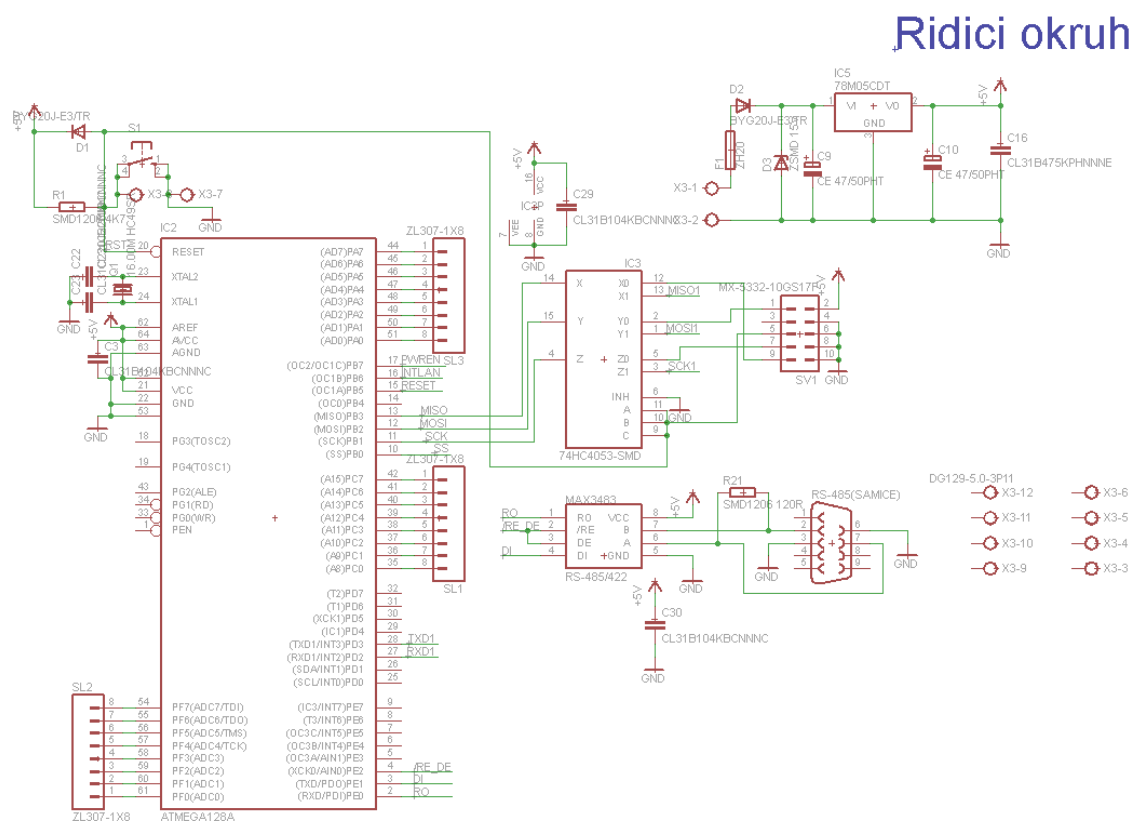


3.2. Jednotka

V řídicí jednotce je třeba popsat některé prvky, které byly použity ve schématu. Tato jednotka tedy vychází z blokového schématu zobrazeného na Obr. 18. Musí však být schopna pracovat i s přípravkem na laboratoři, celé blokové schéma je zobrazeno na Obr. 12.

3.2.1. Řídicí okruh

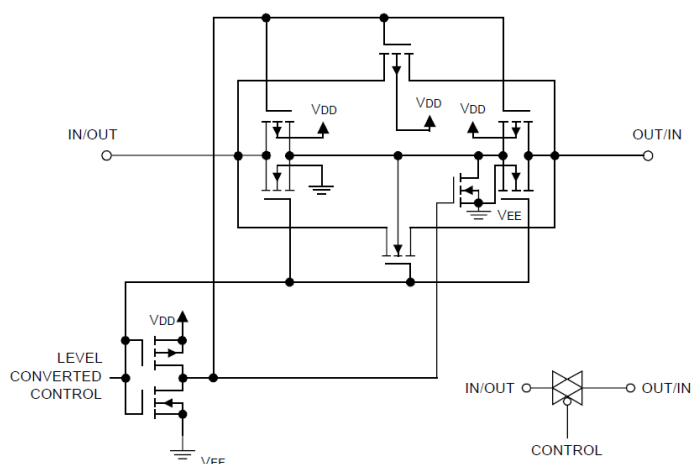
Samotné řešení procesoru a sběrnice je zobrazeno na následujícím schématu Obr. 27.





Obsahuje řadič, který dokáže přeprogramovat jeho Flash paměť za pomoci sériové linky SPI. Tyto kontakty jsou odděleny přepínači, jelikož jsou třeba k další komunikaci. Jako přepínač byl zvolen obvod 4053, což je analogový obousměrný přepínač. Na Obr. 28 je vidět vnitřní zapojení jednoho analogového vstupu/výstupu.

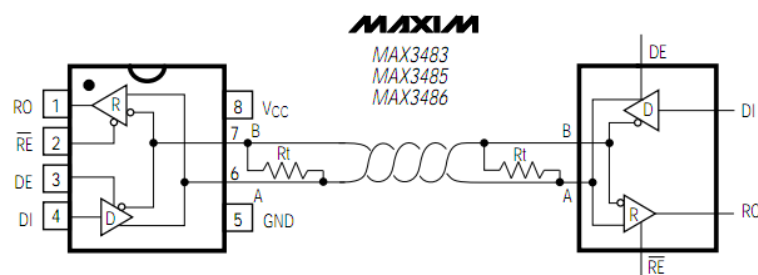
Tento obvod pracuje s frekvencí o hodnotě až 60 MHz, což je několikanásobně vyšší rychlost než takt procesoru, tudíž jsou velice dostačující.



Obr. 28: Vnitřní zapojení jednoho přepínacího kontaktu pro obvod 4053 [18]

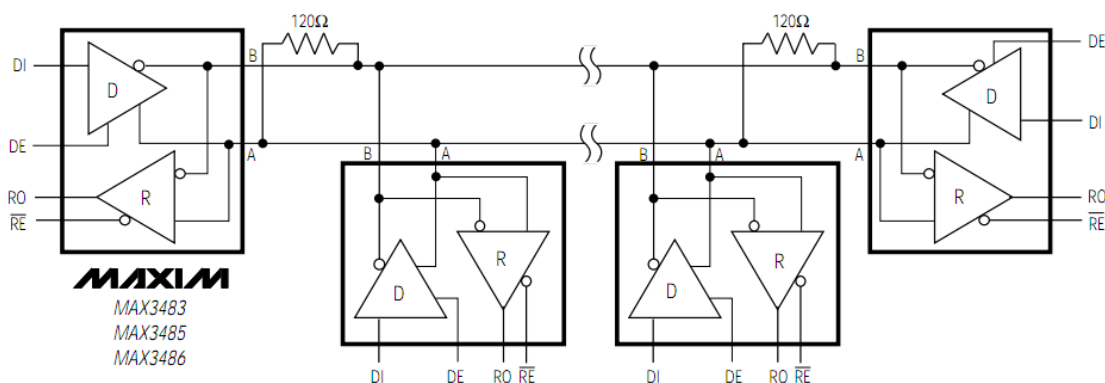
Samotná sběrnice je řešena obvodem MAX3483, který má velice nízké požadavky a normu TIA/EIA 485 splňuje nadměru, co se týče vstupní a výstupní impedance, minimální napěťový rozdíl ve dvoulince a navíc umí pracovat s přepětím do 70 V a v tomto režimu zvládnout i zkrat ve dvoulince. Jeho přenosová rychlost dosahuje 10 Mbps. Zvolili jsme variantu Half-Duplex, jelikož ve Full-Duplex variantě se data fyzicky přenášejí v jednu chvíli jen jedním směrem (pro TIA/EIA 485) a navíc je to kvůli možnosti rušení. [1]

Na následujícím obrázku Obr. 29 výrobce obvodu znázornil propojení mezi jednotlivými obvody RS-485/422. Zapínání a vypínání hradel pro vstup a výstup jsou navzájem negované, což nám přináší tu výhodu, že je můžeme spojit a řídit jedním signálem, kdy hodnota High nám povolí vysílání a zamezí příjmu a naopak.



Obr. 29: Principiální zapojení obvodu pro RS-485 [19]

Toto řešení je velice jednoduché z pohledu externího zapojení. Pro komunikaci s více zařízeními nám výrobce nabízí své doporučené zapojení.



Obr. 30: Komunikace s více zařízeními [19]

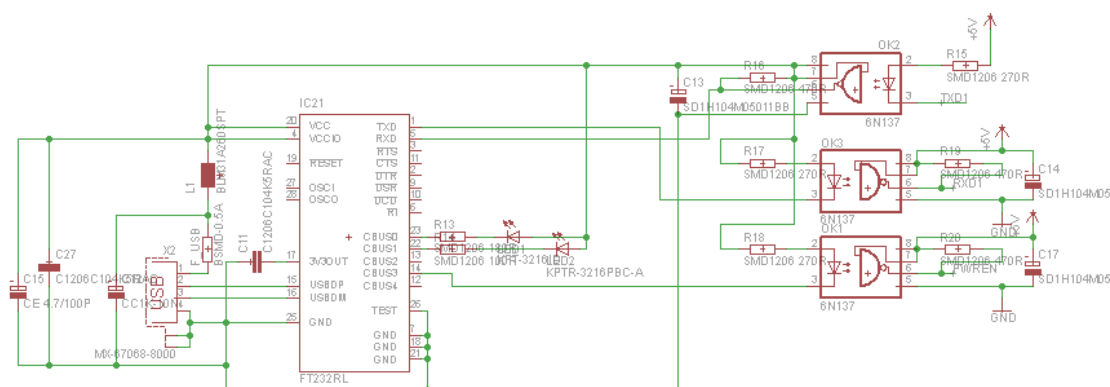
Na předchozím obrázku je vidět, že výrobce doporučuje tytéž rezistory, které jsou již popsány v teoretické části. Mezi dalšími výhodami těchto obvodů patří napájecí rozsah, ten je určen jak pro 3,3 V, tak i pro 5 V. Při vypnutých hradlech spotřebuje pouhé 2 nA. Podporuje až 32 přístrojů na sběrnici. Obvod se vypíná při proudovém a teplotním přetížení. [19]



3.2.2. Komunikace USB

Na řídicí jednotku byla vložena komunikace USB. I když se jedná o komunikaci přes převodník UART na USB, je zde důvod proč využít USB, a to ten, že uživatel tak nemusí nastavovat číslo portu COM. Jde o tzv. Plug&Play, kdy si uživatel zapojí kabel USB a program jednotku najde sám.

Komunikace USB



Obr. 31: Komunikace USB na řídicí jednotce

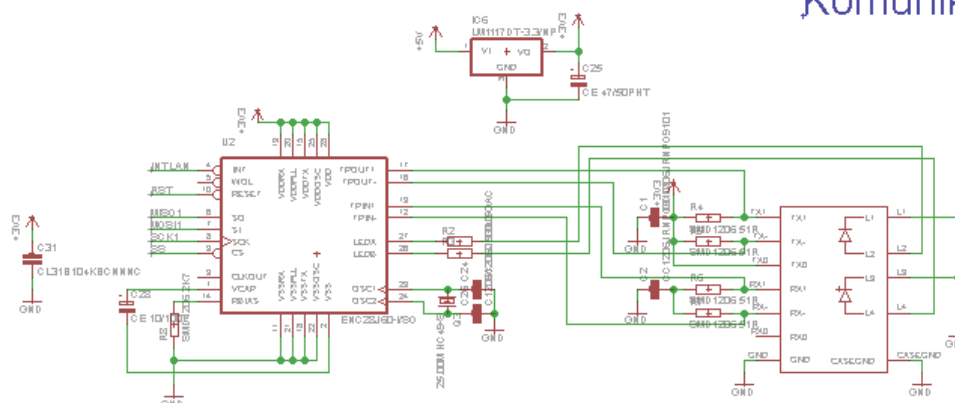
Na Obr. 31 lze vidět řešení zapojení a komunikace USB s mikroprocesorem. Data jsou oddělena optočleny, které zvládají přenos dat až 10 Mbps a jsou přeneseny informace o toku dat v obou směrech a k tomu ještě příprava pro sepnutí zátěže z USB, což může být prakticky využito jako stav usnutí.

Jako optické oddělení byly využity obvody 1N167, které vynalezla firma Hewlett Packard a nyní je vyrábí Agilent Technologies. Jeho zapojení je znázorněno na Obr. 32. Kromě blokovacího kondenzátoru vyžaduje zatěžovací rezistor, který urychlí jeho hranu z Low na High. [20]

[illegible]

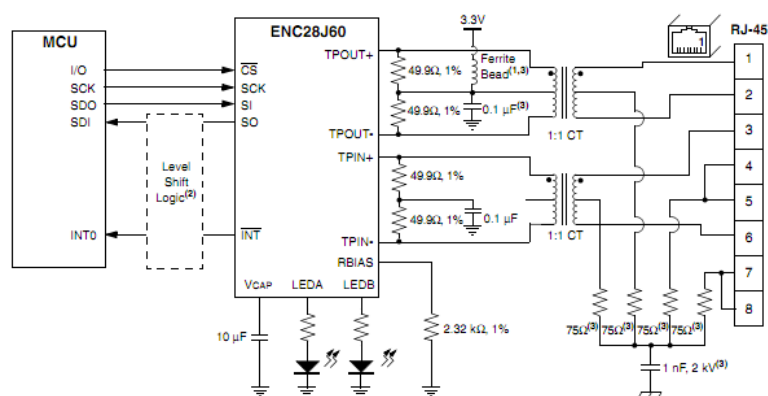
Obr. 33: Zapojení FT232R na řídicí jednotce [21]

Tato jednotka obsahuje i připojení LAN pro Ethernet. S touto komunikací je počítáno do budoucna a to tak, že by byla schopna se sama připojit k internetu, vyřešit vzdálený přístup a sběr informací z měřících přístrojů. Na desce je pro ní ponecháno místo, ale samotná komunikace je natolik složitá, že je zatím ponechána jen jako vize do budoucna. Její řešení lze vidět na Obr. 34.



Obr. 34: Komunikace LAN pro řídicí jednotku

V tomto zapojení jsme využili obvodu ENC28J60, který převádí data z LAN na SPI, který mikroprocesor obsahuje.

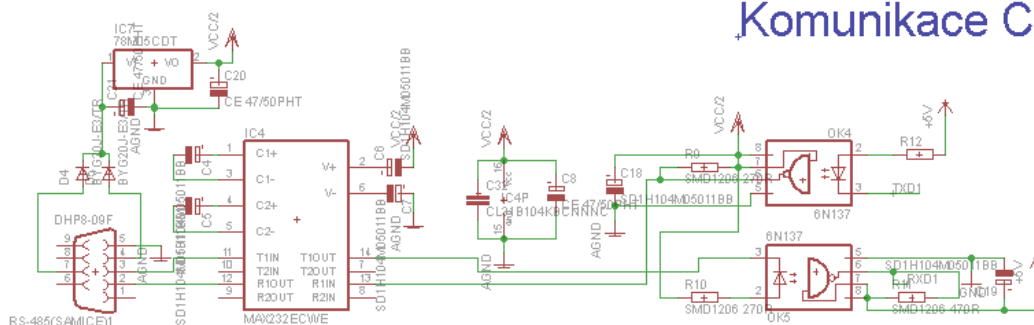


Obr. 35: Typické zapojení ENC28J60 [22]

3.2.4. Komunikace COM

Poslední komunikační port řídicí jednotky je COM, který by měl zastávat stejné funkce jako USB a případně i programování Flash paměti za pomoci tzv. Bootloaderu. To je program mikroprocesoru, který umí komunikovat s STK500 (programovací protokol např. pro AVR Studio) a ten přepíše následně Flash paměť čipu. Nevýhoda tohoto řešení pomalejší programování, ale na druhou stranu není třeba žádného programátoru, stačí jen počítač a program AVR Studio či podobný.

Komunikace COM



Obr. 36: Komunikace COM pro řídicí jednotku

Toto zapojení na Obr. 36 znázorňuje řešení komunikace mezi PC a mikroprocesorem. Je opět opticky odděleno, ale zde bylo zapotřebí napájet obvod MAX232 ze strany PC a byl zvolen ten způsob, že se sepnou oba výstupy na portu COM a ty stabilizovat na potřebné napájecí napětí.

3.2.5. Plošný spoj řídicí jednotky

Jak již bylo zmíněno, tak elektronika je navrhována pro DIN krabičky značky ModulBox. Na desce jsou osazeny veškeré součástky popsané výše.

Deska byla navržena podle skript Metodika návrhu plošných spojů, které napsal Ing. Vít Záhlava, CSc.

Minimální použitá šířka vodiče je 0.4064 mm, veškeré vrtané díry jsou pokovené, pady jsou pocínované. Obsahuje potisk i nepájivou masku na obou stranách.



3.3. Přípravek

Přípravek má za úkol ovládat krokový motor, který bude na jedné hřídeli s inkrementálním čidlem. Její hodnoty následně zpracuje a odešle po sběrnici na požádání. Také musí mít plně podřízenou sběrnici řídicí jednotce. Schéma tohoto přípravku bylo zohledněno na požadavky, které jsou tedy použití krokového motoru a konkrétního inkrementálního čidla, které obsahuje dvojlinky A, B a Z, což činí šest informačních signálů.

3.3.1. Ovládání krokového motoru

Problematika a řízení krokového motoru je v kapitole 2.3.1. Byl tedy použit integrovaný obvod TB6560AHQ, který byl třeba integrovat do zapojení obvodu. Obsahuje dva plné H-Můstky a logické řízení, které vyžaduje určení směru a inkrementace pohybu, včetně nastavení omezovače proudu. Umožňuje i definovat počet mikro kroků, těch je až šestnáct.

Mikro krokování tohoto typu motoru je řešeno signály PWM, které udávají cílce jiné efektivní napětí, respektive proud. Průběh efektivních hodnot napětí lze vidět v grafu, který je zde přiložen jako Příloha H - Mikro krokování.

3.3.2. Čtení informací z rotačního čidla

Informace o použitém rotačním čidlu jsou v kapitole 2.3.2. Použité kontakty inkrementálního čidla jsou vypsány na Tab. 3 a ty se musí použít ve schématu tak, abychom byli schopni odečítat inkrementaci. Na tabulce lze vidět, že jednotlivé inkrementační signály jsou vedeny ve dvoulinkách, tak je nutné tyto signály rozlišit, opticky oddělit a až následovně odeslat do procesoru, který vyhodnotí polohu inkrementálního čidla.



Tab. 3: Kontakty rotačního senzoru [15]

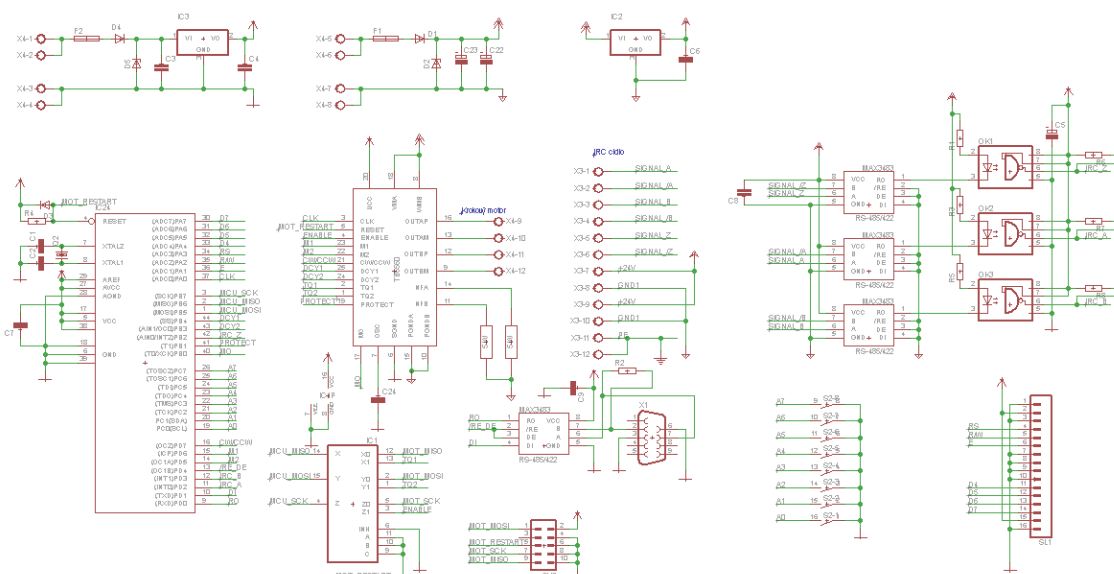
Číslo kontaktu	Barva vodiče	Funkce vodiče
1	Šedá	Signál B (2) negovaný
2	Růžová	Kompenzace úbytku napětí 5 V
3	Modrá	Signál Z (3)
4	Fialová	Signál Z (3) negovaný
5	Žlutá	Signál A (1)
6	Bílá	Signál A (1) negovaný
7	---	Nezapojený
8	Zelená	Signál B (2)
9	„bez barvy“	Stínění
10	Černá	Zem (GND)
11	Hnědá	Kompenzace úbytku napětí 0 V
12	Červená	Napájecí napětí (U_{cc}) 5 V

3.3.3. Zapojení přípravku

Zapojení vychází z požadavků na použité inkrementální rotační čidlo, které musí natáčet krokový motor. Dále je také nutné, aby přípravek byl kompatibilní s danou sběrnici.

Na Obr. 39 lze vidět, že byl použit procesor ATMega 16A od firmy Atmel, ten je programovaný pomocí SPI, který je na konektoru přes analogový přepínač pinů. Řízení krokového motoru je tedy řešeno obvodem TB6560AHQ a ten je plně řízen mikroprocesorem.

Je tu ponecháno několik kontaktů pro ovládání LCD. Napájení pro krokový motor a inkrementální rotační čidlo je společné, ale napájení samotného obvodu je galvanicky odděleno. Adresu obvodu lze zadat ručně za pomoci DIL přepínačů.



Obr. 39: Schéma zapojení přípravku

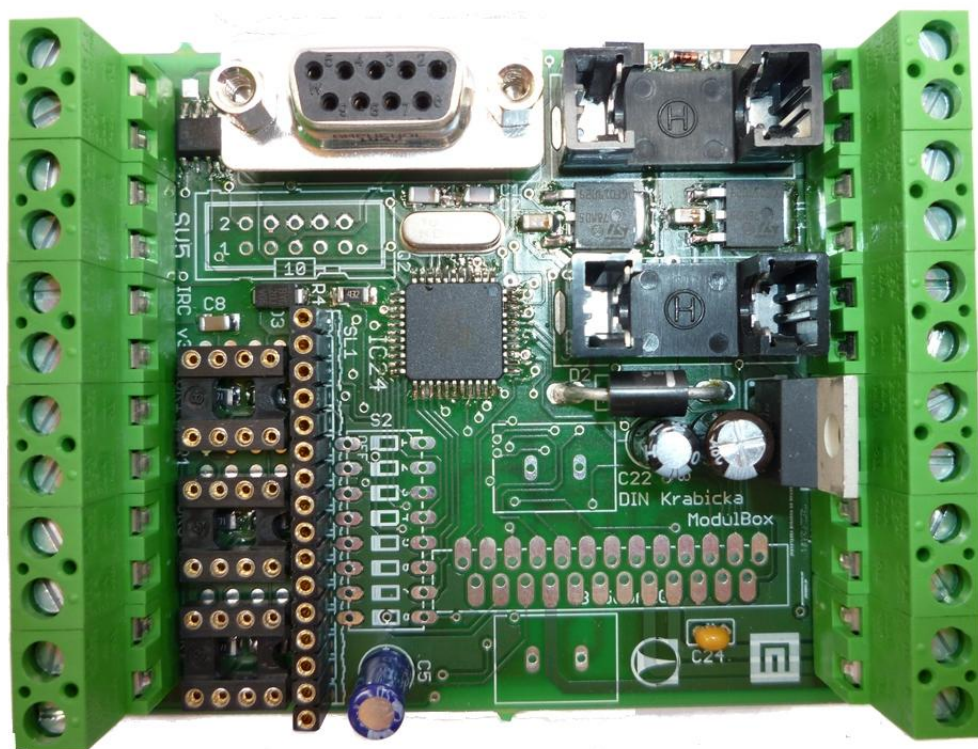
Na plošném spoji jsou vedeny napájecí vodiče taženy širšími cestami. Jelikož jsou desky objednány z firmy Pragoboard, byly použity jejich grafy, které určili minimální šířku vodiče.

3.3.4. Plošný spoj přípravku

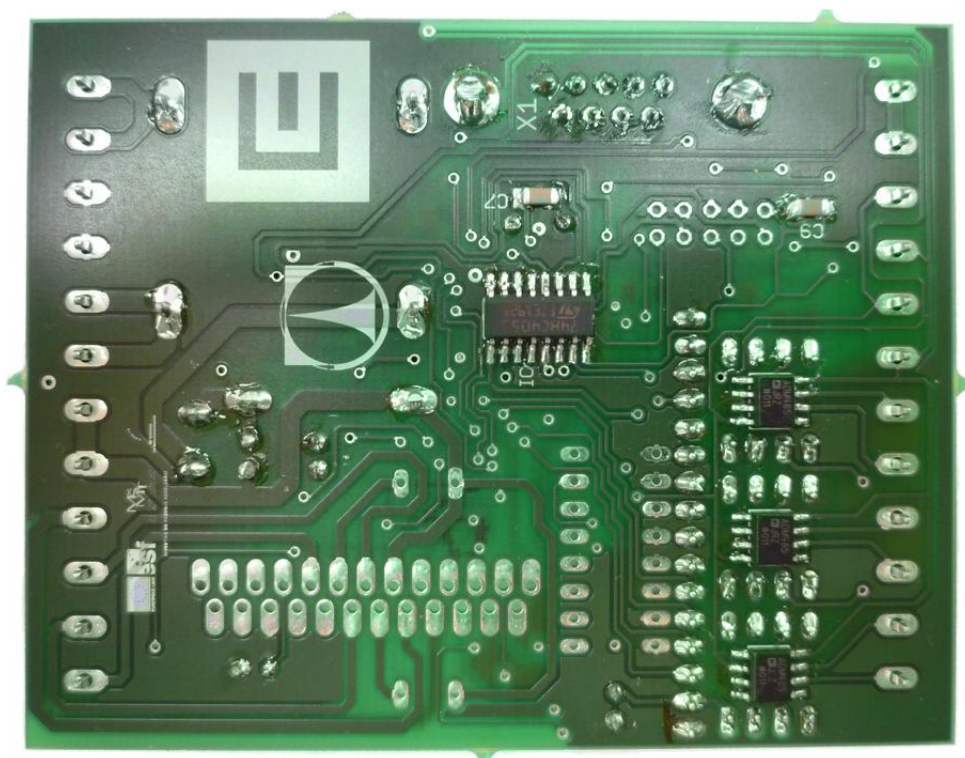
Plošný spoj má vymezené rozměry, které jsou dány krabičkou ModulBox. Na následujících obrázcích lze vidět osazení součástek a vedení spojů z obou stran.

Postranní svorkovnice zapadnou do DIN krabičky. Součástky jsou vtěsnána na relativně malou plochu, ale i přesto byla dodržena metodika návrhu plošných spojů dle skript od Ing. Víta Záhlavy, CSc. (ČVUT).

Deska je dvou vrstvá, pokovená, pocínovaná s nepájivou maskou a obsahuje také potisky na vrchní i spodní straně.



Obr. 40: Osazený plošný spoj přípravku ze strany Top



Obr. 41: Osazený plošný spoj přípravku ze strany Bottom



3.3.5. Zapojení přípravku

Samotný přípravek má více kontaktů na svorkovnici a z tohoto důvodu je na následujícím obrázku zobrazeno blokové schéma zapojení celé DIN krabičky.

Vrchní řada svorkovnice obsahuje kontakty pro napájecí zdroje a krokový motor, čili zde jde o silovější část. Spodní řada svorkovnice obsahuje kontakty pro měření signálů rotačního senzoru.

Krokový motor a rotační senzor jsou v jedné konstrukci se spojenou hřídelkou. Stínění rotačního senzoru je zároveň i kontakt železné konstrukce, tím pádem budou obě zařízení mít nulový potenciál vůči zemi, jelikož stínění bude zapojeno na ochranný vodič.

Samotné zapojení přípravku jako DIN krabičky, lze vidět na Obr. 45.

3.4. Tok dat po sběrnici

Sběrnice bude zatížena několika přípravky a její provoz bude mít na starosti řídicí jednotka. V klidovém stavu budou všechna zařízení naslouchat.

Jednotka bude rozesílat tzv. Token po sběrnici od adresy 1 po adresu 254, adresa 0 je rezervována pro samotnou jednotku a adresa 255 je určena pro hromadné rozesílání dat. Na tuto adresu budou reagovat všechna zařízení kromě toho, co zrovna vysílá data.

Tab. 4: Data kolující po sběrnici

0. byte	1. byte	2. byte	3. byte	4. byte	5. byte	X. byte	20. byte
Příznak vysílání	Adresa příjemce	Adresa odesílatele	Token Čtení Zápis Chyba	Klíč Adresa registru Priorita	Čekací rámec Data Kód	Data	Příznak konce vysílání

Na předchozí tabulce je vidět složení dat s dynamickou délkou řetězce. První (tedy nultý) byte obsahuje příznak, který obsahuje informaci o tom, že se zrovna chystá vysílat celý řetězec. Další byte nám sdělí, kdo vysílá. Následující byte nese informaci



o tom komu je řetězec určený. Zda dané zařízení nemá odpovídající adresu, zbylá data zahazuje s tím, že bude reagovat až na další příznak vysílání.

V režimu token musí třetí byte obsahovat příznak Token, následně jsou další data tzv. klíč, který se náhodně vygeneruje a pak jak dlouho bude zařízení čekat na zpětnou odpověď. Nakonec následuje příznak konce vysílání.

Dané zařízení, které obsahuje danou adresu, musí odpovědět do doby v čekacím rámci, jinak se zapíše kód chyby sběrnice, což je vhodné pro odladění chyb, které kolují na sběrnici. Toto zařízení může na tuto situaci reagovat dvěma způsoby a to zda nechce vysílat, zašle zpět na jednotku příznak Token a stejný klíč, který obdržel a následně čekací rámec s příznakem konce. Chce-li se zařízení rezervovat čas na sběrnici, odešle zpět příznak Token, ale klíč upraví dle jednoduchého algoritmu, jako například inverze klíče a následně odečet hodnoty jedna. Zbytek je stejný, ale tentokrát se stává držitelem času na sběrnici toto zařízení.

Zařízení, které má rezervaci času na sběrnici má oprávnění číst či zapisovat do ostatních zařízení na stejné sběrnici. První tři byty jsou neměnné, ale ve čtvrtém bytu si zařízení může odeslat příznak pro zápis či čtení informace. O jakou informaci se jedná, určí pátý byt. Je zde k dispozici 256 kombinací, takže zařízení může obsahovat až 256 parametrů, které může držet například z měření. Následující byty jsou data, které zařízení chce zapsat, pokud chce ale číst, tak tyto byty zde nejsou, zakončí se příznakem konce vysílání.

Další a zároveň poslední funkcí řetězce je správa chyb. Pošle-li nějaké zařízení data v nesprávném pořadí, nebo dojde k přerušení spojení z nějakých zařízení, případně nahlásí-li nějaké zařízení zkrat/přetížení v obvodu, nahlásí do sběrnice chybu s danou prioritou, kde přetížení a zkrat bude v první prioritě, chyba komunikace v druhé prioritě atd. Další byte specifikuje, o jakou chybu se jedná. Jednotka si zaznamená, od koho chyba přišla, o jakou se jedná prioritu a konkrétní chybu. Data odešle následně do počítače.

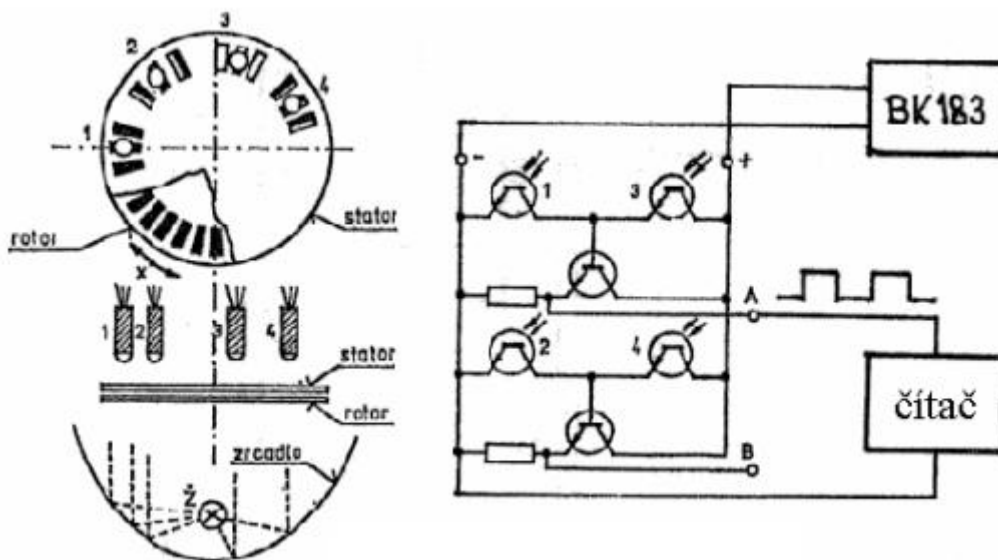


4. Zadání pro původní laboratorní úlohu

4.1. Zadání

Vypočtete pomocí údajů katalogového listu maximální přípustné otáčky rotačního čidla IRC 205 a rozlišovací schopnost při 1024 imp/ot. Změřte a graficky vynesete závislost počtu impulsů na úhlu natočení v přímém zapojení čítače na výstup čidla i v zapojení logického bloku k rozlišení směru otáčení hřídele čidla.

- Rotační snímač IRC připojte na napájecí zdroj +5V a výstup A na universální čítač.

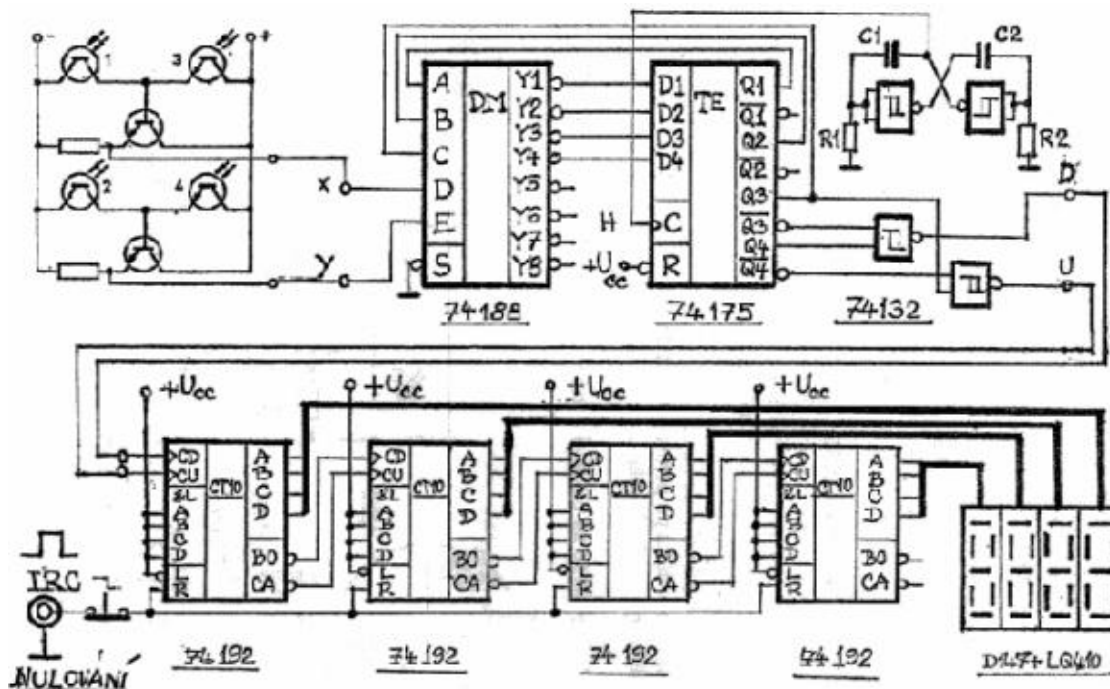


Obr. 42: Rotační snímač IRC, výstup A

- Vypočtete maximální měřitelné otáčky rotačního čidla IRC 205 a rozlišovací schopnost při 1024 imp/ot
- Změřte a graficky znázorněte závislost počtu impulsů na úhlu natočení 0 až 360° (po 30°), dále po deseti otáčkách hřídele. Vypočtete maximální statickou chybu měření. Ačkoliv se jedná o diskrétní funkci, sestavte bodové grafy s křivkou. Použijte metodu nejmenších čtverců.



- Inkrementální rotační snímač IRC 205 zapojte do logického obvodu pro rozlišení smyslu otáčení hřídele čidla. Změřte závislost počtu impulsů na úhlu natočení 0 až 360° při případné změně směru otáčení. Vypočítejte maximální statickou chybu měření.



Obr. 43: Elektronické schéma zapojení přípravku

- Zhodnoťte dosažené výsledky.

Technické parametry snímače IRC 205 (výrobce LARM a.s., Netolice)

Elektrické údaje: *kmitočet výstupního signálu max.* 170 kHz
napájecí napětí pracovních obvodů 5 V_{SS} ± 5 %
proudová spotřeba max. 200 mA
izolační odpor větší 20 MΩ
druh krytí dle ČSN 330330 IP 65

Mech. vlastnosti: *moment setrvačnosti rotační části* 20 g·cm² ± 10 %
přípustné zatížení hřídele radiálně max. 50 N
přípustné zatížení hřídele axiálně max. 20 N
mechanické otáčky 170 ot. s⁻¹
životnost snímače 50 000 Nh
maximální délka propojovacího kabelu 50 m
délka výstupního kabelu 1 m

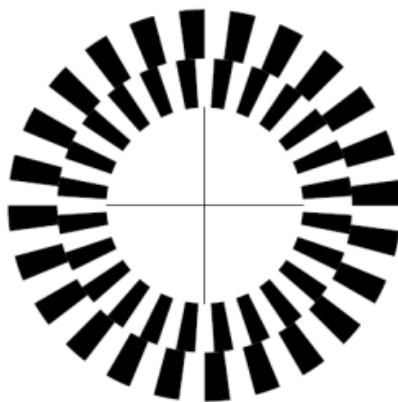


5. Zadání pro upravenou laboratorní úlohu

5.1. Zadání

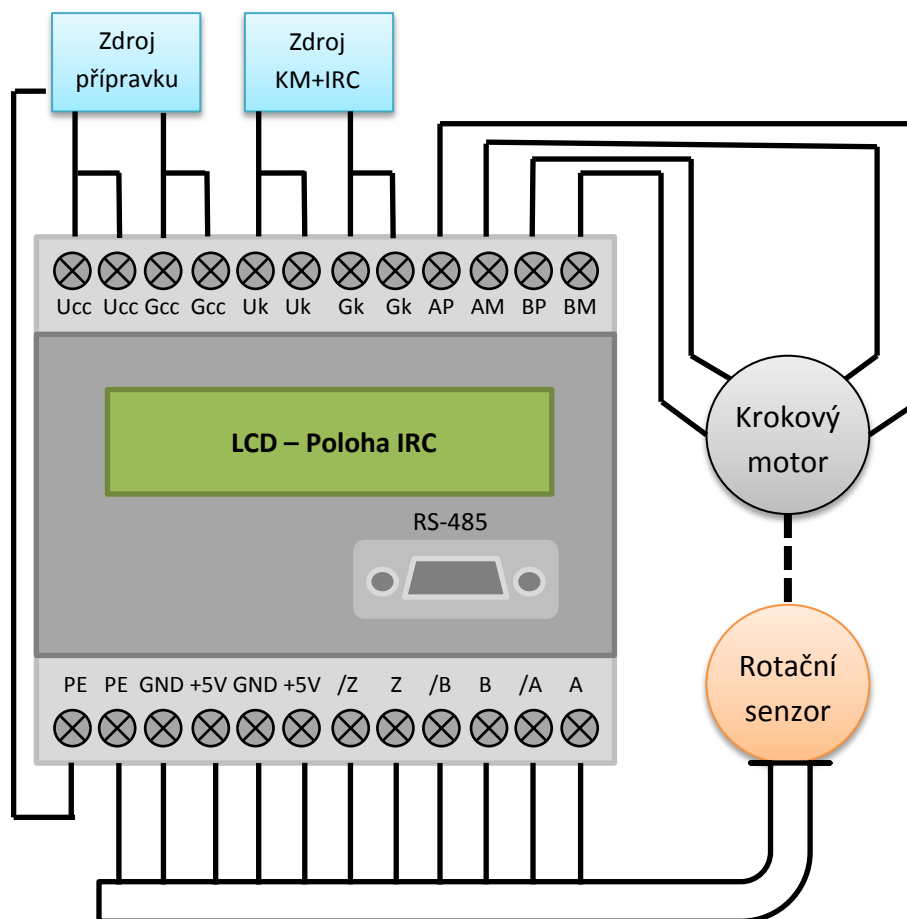
Vypočtete pomocí údajů katalogového listu maximální přípustné otáčky rotačního čidla IRC 205 a rozlišovací schopnost při 1024 imp/ot. Změřte a graficky vynesete závislost počtu impulsů na úhlu natočení v přímém zapojení čítače na výstup čidla i v zapojení logického bloku k rozlišení směru otáčení hřídele čidla.

- Povolte v programu signály A, B a Z. Zvolte typ měření signálů (1x, 2x, 4x).



Obr. 44: Optické stínítko IRC [11]

- Vypočtete maximální měřitelné otáčky rotačního čidla IRC 205 a rozlišovací schopnost při 1024 imp/ot.
- Změřte a graficky znázorněte závislost počtu impulsů na úhlu natočení 0 až 360° (po 30°), dále po deseti otáčkách hřídele. Vypočtete maximální statickou chybu měření. Ačkoliv se jedná o diskrétní funkci, sestavte bodové grafy s křivkou. Použijte metodu nejmenších čtverců.
- Změřte závislost počtu impulsů na úhlu natočení 0 až 360° při případné změně směru otáčení. Vypočtete maximální statickou chybu měření.



Obr. 45: Blokové schéma zapojení přípravku

- Zhodnot'te dosažené výsledky.



Technické parametry snímače IRC 205 (výrobce LARM a.s., Netolice)

Elektrické údaje: *kmitočet výstupního signálu max.170 kHz*

napájecí napětí pracovních obvodů5 V_{ss} ± 5 %

proudová spotřebamax. 200 mA

izolační odporvětší 20 MΩ

druh krytí dle ČSN 330330IP 65

Mech. vlastnosti: *moment setrvačnosti rotační části20 g·cm² ± 10 %*

přípustné zatížení hřídele radiálněmax. 50 N

přípustné zatížení hřídele axiálněmax. 20 N

mechanické otáčky170 ot. s⁻¹

životnost snímače50 000 Nh

maximální délka propojovacího kabelu50 m

délka výstupního kabelu1 m



6. Shrnutí

Tato práce v první řadě obsahuje řešení dané problematiky od problémů s napětíovými úrovněmi, přes galvanické oddělení až po vhodně zvolenou komunikaci. Také bylo rozvrhnuto celé vzdálené řízení a to tak, že o sběr informací se bude starat řídicí jednotka a to pro celou laboratoř. Ta obsahuje volně přístupnou adresovatelnou sběrnici, na kterou lze připojit více přípravků pro konkrétní laboratorní úlohy, případně i universálnější přípravky. V tomto případě se jedná o universální řídicí jednotku a přípravek, měřící neelektrické veličiny, úhel natočení rotoru. Na Obr. 18 lze vidět blokové uspořádání řídicí jednotky a na Obr. 19 blokové uspořádání samotného přípravku. Rozhodlo se, že oba prvky budou zapouzdřeny do normovaných krabiček (DIN).

Dalším krokem této práce je již realizace samotných schémat a plošných spojů pro obě části (jak řídicí jednotky, tak i přípravku). Návrh zapojení se odvíjel často od typických zapojení výrobců. Ale téměř všechna tato zapojení byla modifikována kvůli galvanickému oddělení vstupně výstupních signálů.

Řídicí jednotka obsahuje několik vstupně-výstupních komunikačních standardů a to včetně síťového připojení, které je však určeno pouze pro budoucí modifikaci úlohy. Se samotnými přípravky komunikuje přes sběrnici, která obsahuje pouze dva diferenciální signály.

Zapojení přípravku obsahuje jak ovládání krokového motoru, tak i čtení rotačního senzoru s inverzními signály pro inkrementaci polohy. Pro zachování galvanického oddělení jsou u tohoto senzoru vyžadovány dva napájecí zdroje. Přípravek je uzpůsoben pro manuální vložení adresy.

Z důvodu jednotného programátoru a programovacího prostředí jsou obě tyto desky navrženy se stejným typem procesoru. Vzhledem ke vzájemné kompatibilitě maximálních přenosových rychlostí byly ke galvanickému oddělení opět použity stejné obvody.

Veškerá komunikační rozhraní byla uzpůsobena pro případné vnější zkratky či přepětí tak, aby nedošlo k případným škodám.



Oba plošné spoje byly navrženy podle skript Metodika návrhu plošných spojů, která řeší parazitní vlivy a vnější ovlivňování na desce plošných spojů. [17] Tyto plošné spoje byly vyrobeny firmou PragoBoard s. r. o. na základě vygenerovaných výrobních dat z CAM procesoru. Obě desky plošných spojů lze vidět na obrázcích (Obr. 37 a Obr. 38, strana - 51 -; Obr. 40, a Obr. 41, strana - 55 -). Jak z nich lze vyčíst, tak řídicí jednotka obsahuje všechny nutné komponenty pro běh v této aplikaci, kde je ponechán prostor pro síťovou komunikaci. U přípravku je však vidět, že chybí programovací konektor, přepínače pro adresaci, výkonový prvek ovládající krokový motor a jeho dva měřicí rezistory. Tento nedostatek je způsoben špatnou komunikací s dodavatelem jednotlivých součástí. Proto není tento přípravek zcela připraven pro provoz. Z tohoto důvodu se odvíjí nemožnost ukázkového měření.

Jelikož byla navržena dvě zařízení, která spolu měla spolu komunikovat po společné adresovatelné sběrnici, bylo nutné navrhnout řízení samotné sběrnice. Je využito tzv. registru kolujícího po této sběrnici. Jeho obsah lze vidět na Tab. 4 a má za úkol jak řízení předávání časů, dat, tak i chyb, tak aby bylo možné detekovat případné nekompatibilní přenosy dat.



Závěr

Tato práce navrhla schéma zapojení a plošné spoje pro řídicí jednotku a přípravek pro vzdálené měření. Výrobní data těchto plošných spojů byla odeslána ke zhotovení firmě PragoBoard s. r. o. Desky jsou navrženy modulárně do DIN krabiček pro snadnou údržbu, servis a hlavně pro rozšíření o další moduly, které by postupně obsadily stanoviště s měřicími úlohami v laboratoři.

Paralelně s touto prací probíhal návrh Vzdálené řízení úlohy Měření výkonu. Takto je tedy připraveno obsazení dvou pracovišť a to jak pro elektrickou, tak i pro mechanickou úlohu.

Řídicí jednotka je navržena pro co největší univerzálnost pro použití mezi sběrnici a počítačem, kde má k dispozici několik komunikačních portů. Zatímco ze strany měření přípravek představuje jednoúčelové zařízení, na straně sběrnice má otevřenou komunikaci.

Vizí této práce je umožnit v současnosti studentů dálkových oborů přístup k laboratorním úlohám z libovolného místa, kde je k dispozici internet. V budoucnu by tato práce mohla být použita pro plně automatizovaný provoz v průmyslovém odvětví, například pro sběr elektrických i mechanických dat. Toto řešení by případně mohlo umožnit vyhledávání stavů v obchodech, také by mohlo posloužit ke vzdálené kalibraci senzorů.



Literatura

- [1] **Hlava, doc. Dr. Ing. Jaroslav.** Skripta. *Studijní materiály k předmětu PAŘ.* [Online] 3. 8 2003.
www.fm.tul.cz/~jaroslav.hlava/par/Skripta_PAR.pdf.
- [2] **Jones, R. Victor.** Profile of R. VICTOR JONES. *Harvard.* [Online] 23. 10 2010.
people.seas.harvard.edu/~prob_assign_5_01/cmos_1.gif.
- [3] —. Profile of R. VICTOR JONES. *Harvard.* [Online] 23. 10 2010.
people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_7/MOS/cmos_nand2.jpg.
- [4] **Vojáček, Antonín.** Z jakých polovodičových technologií jsou integrované obvody Freescale? *hw.cz.* [Online] 7. 4 2008. www.hw.cz/teorie-praxe/art2294-~-obvody-freescale.html.
- [5] **Atmel.** 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash. *Atmel.* [Online] 26. 5 2010.
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf.
- [6] **Pandatron.** UART na PIC - jednovodičový RS232. *Pandatron.* [Online] 24. 10 2008.
pandatron.cz/elektronika2/uart-pic-1_rs232.gif.
- [7] **Olmr, Vít.** HW server představuje - Sériová linka RS-232. *hw.cz.* [Online] 12. 12 2005.
hw.cz/files/rozhrani/images/ft232bm_blokove_schema.gif.
- [8] **eSportuj.** Rozhraní SPI. *Jednočipy, programování.* [Online] 25. 10 2008.
meloun.esportuj.cz/images/spi/spi_three_slaves.png.
- [9] **Vickery, Dr. Christopher.** UART Design and Programming. *Dr. Christopher Vickery's Web Site.* [Online] 24. 10 2010. babbage.cs.qc.edu/courses/cs343/UART/UART_1.png.
- [10] **Society of Robots.** Stepper Motors. *Society of Robots.* [Online] 24. 10 2010.
www.societyofrobots.com/member_tutorials/files/Stepper_motor_1.png.
- [11] **Strašil, Ivo.** Kvadrurní dekodér pro inkrementální snímače IRCDEK2. *Strašil elektronika.* [Online] [Citace: 24. 10 2010.] www.strasil.net/index.php?text=ircdek2.
- [12] **Doleček, J.** *Moderní učebnice elektroniky - 3. Díl Optoelektronika.* Praha : BEN, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [13] **Agilent Technologies.** Isolation Amplifier. *Schemetic.* [Online] 14. 2 2000.
www.es.co.th/Schemetic/PDF/HCPL-7840.PDF.
- [14] **TOSHIBA Semiconductor.** TOSHIBA BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic. *Toshiba, Leading Innovation.* [Online] 4. 9 2009.
www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync//382/27885.pdf.
- [15] **Larm a.a.** Optoelektronik encoders. *Larm a.a.* [Online] 30. 3 2005.
www.larm.cz/AJ/DOWNLOAD/OPTOELECTRONIC~2005.pdf.
- [16] **Futurlec.** BLUELCD16x2BL. *Futurlec, The Electronic Controlers.* [Online] 1. 4 2011.
www.futurlec.com/Pictures/LCD16x2.gif.



- [17] **Ing. Vít Záhlava, CSc.** *Metodika návrhu plošných spojů*. Praha 6 : Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02193.
- [18] **Unisonic Technologies.** Triple 2-channel analog multiplexers/demultiplexers. *UTC*. [Online] 20. 3 2009. www.unisonic.com.tw/datasheet/4053.pdf.
- [19] **Maxim.** True RS-485/RS-422 Transceivers. *Maxim, Innovation Delivered*. [Online] 30. 10 2000. www.datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3483-MAX3491.pdf.
- [20] **Hewlett-Packard.** Hight CMR, Hight Speed TTL Compatible Optocouplers. *BG Electronics*. [Online] 14. 8 2007. www.bg-electronics.de/datenblaetter/Optokoppler/HCPL-063N.pdf.
- [21] **FTDI Chip.** FT232R USB UART IC. *Future Technology Devices International Ltd*. [Online] 31. 5 2010. www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf.
- [22] **Microchip.** ENC28J60. *Microchip*. [Online] 20. 7 2006. ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662b.pdf.

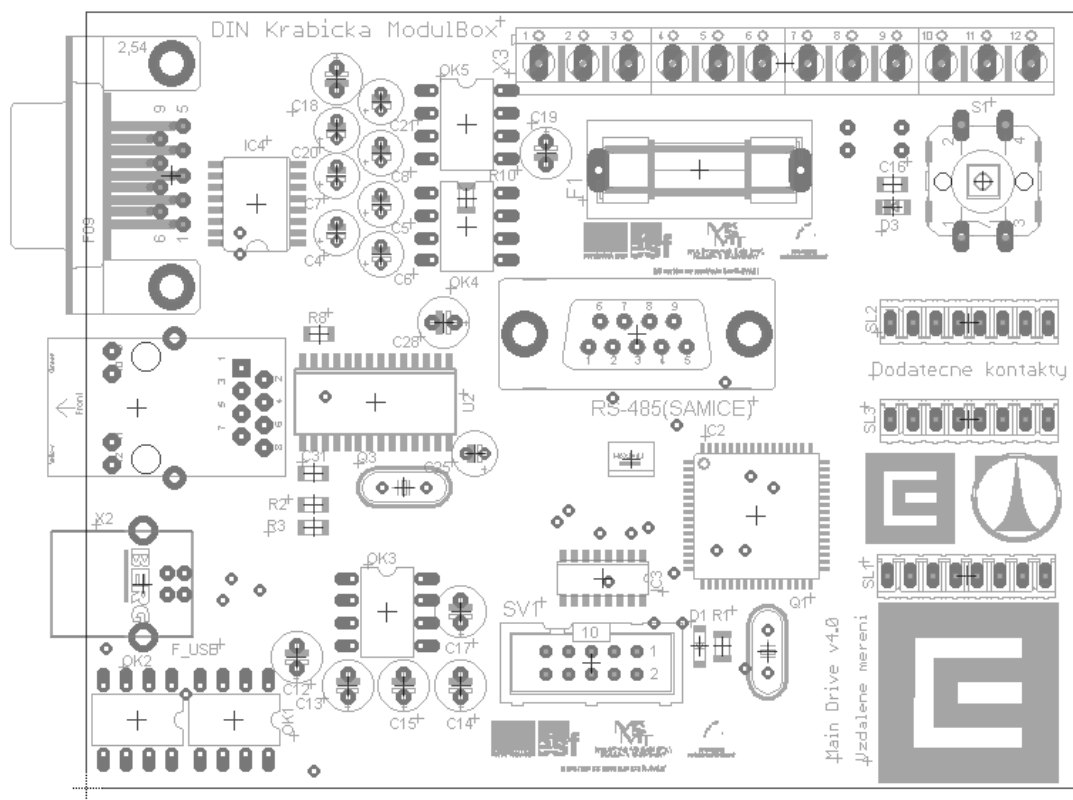


Seznam příloh

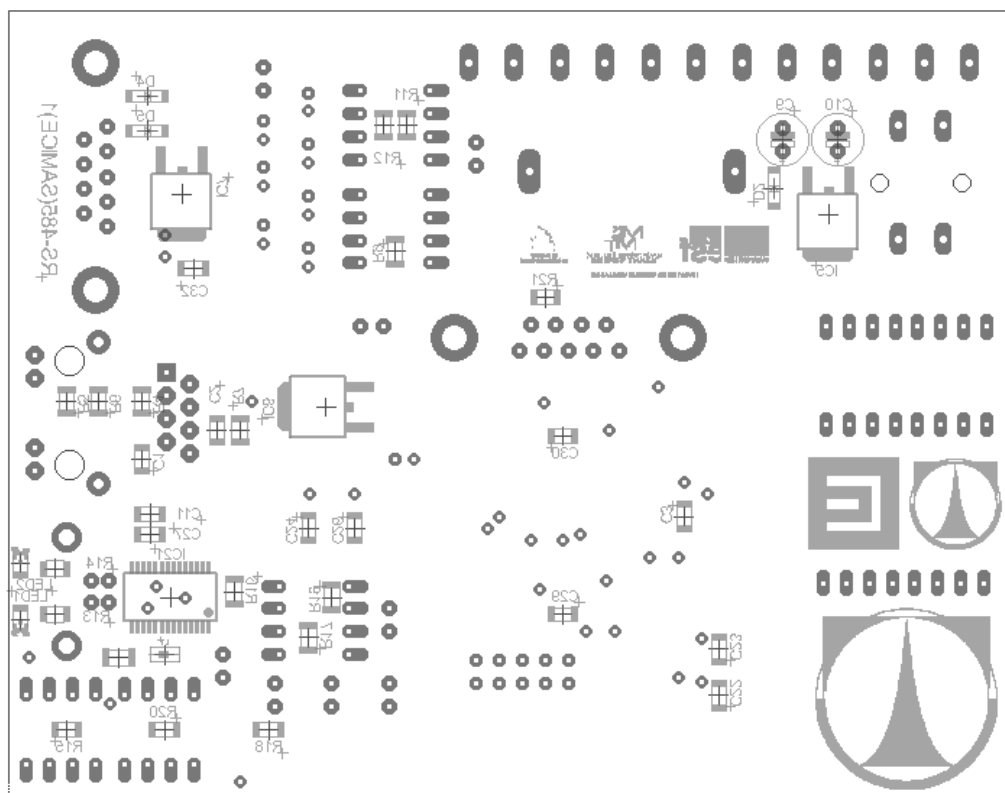
PŘÍLOHA A: SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDICÍ JEDNOTKY	- 69 -
PŘÍLOHA B: NÁVRH OSAZENÍ ŘÍDICÍ JEDNOTKY	- 70 -
PŘÍLOHA C: NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ ŘÍDICÍ JEDNOTKY	- 71 -
PŘÍLOHA D: NÁVRH OSAZENÍ PŘÍPRAVKU	- 72 -
PŘÍLOHA E: NÁVRH PLOŠNÝCH SPOJŮ PŘÍPRAVKU	- 73 -
PŘÍLOHA F - SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘÍPRAVKU	- 74 -
PŘÍLOHA G: BLOKOVÉ SCHÉMA MIKROPROCESORU AVR.....	- 75 -
PŘÍLOHA H - MIKRO KROKOVÁNÍ	- 76 -
PŘÍLOHA I: OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD	- 77 -



Příloha B: Návrh osazení řídicí jednotky



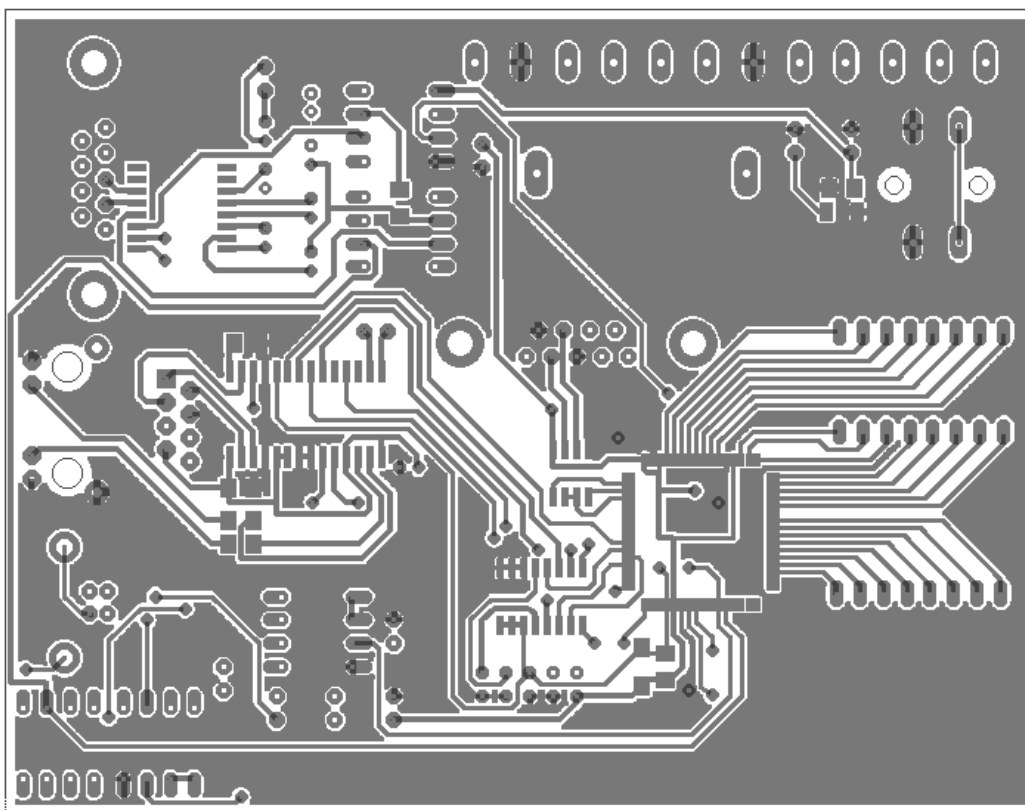
Návrh osazení součástek řídicí jednotky ze strany Top



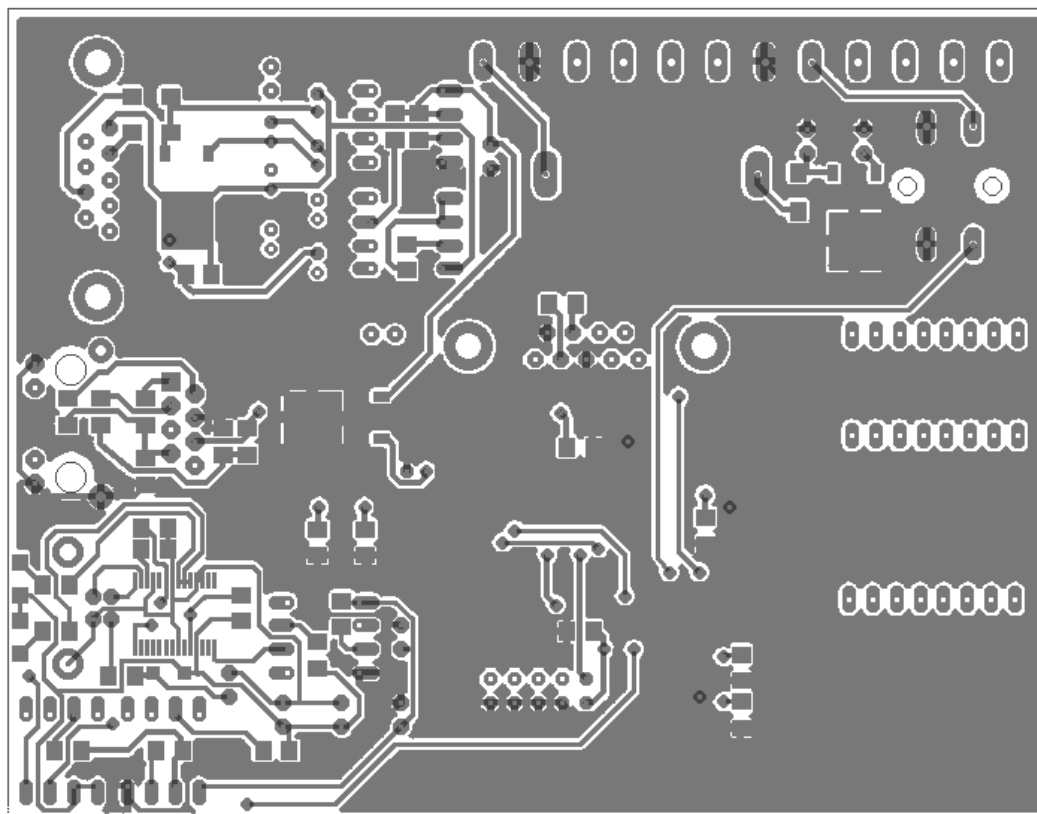
Návrh osazení součástek řídicí jednotky ze strany Bottom



Příloha C: Návrh plošných spojů řídicí jednotky



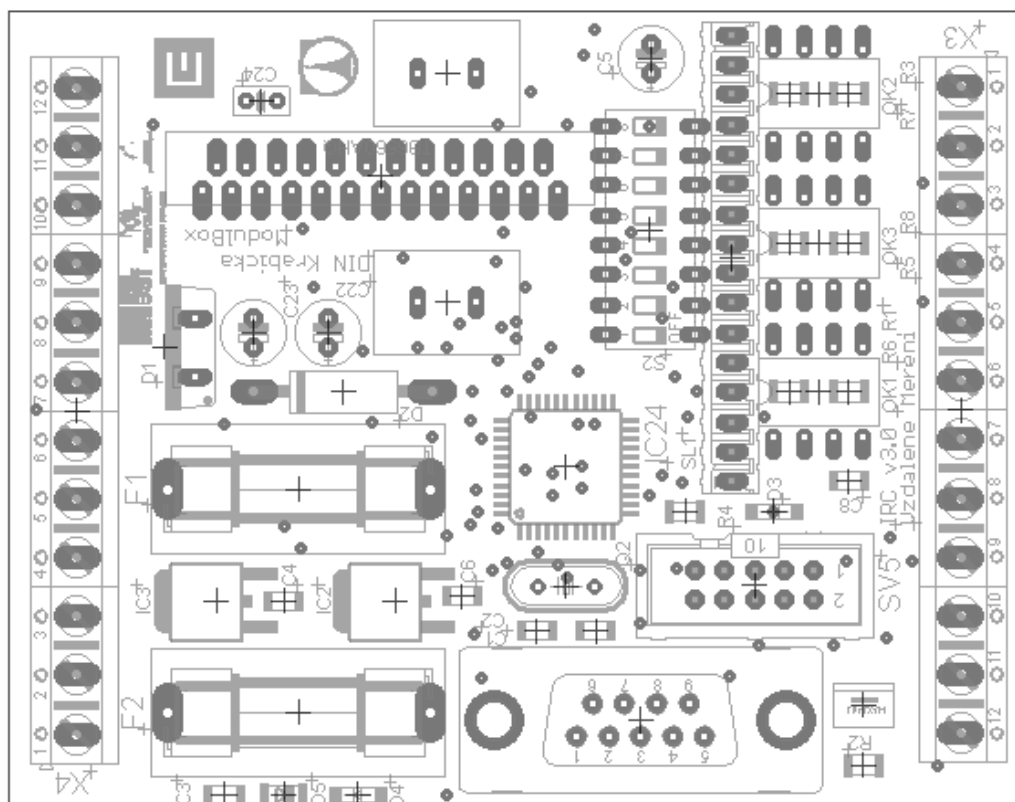
Deska plošných spojů řídicí jednotky ze strany Top



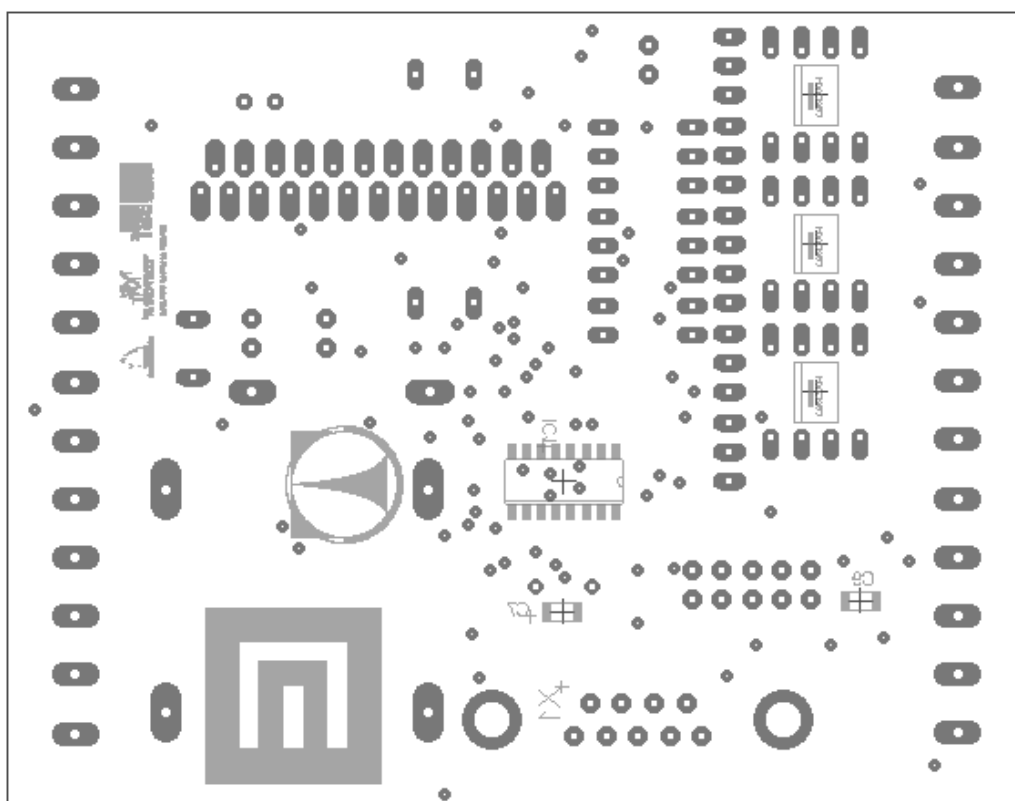
Deska plošných spojů řídicí jednotky ze strany Bottom



Příloha D: Návrh osazení přípravku



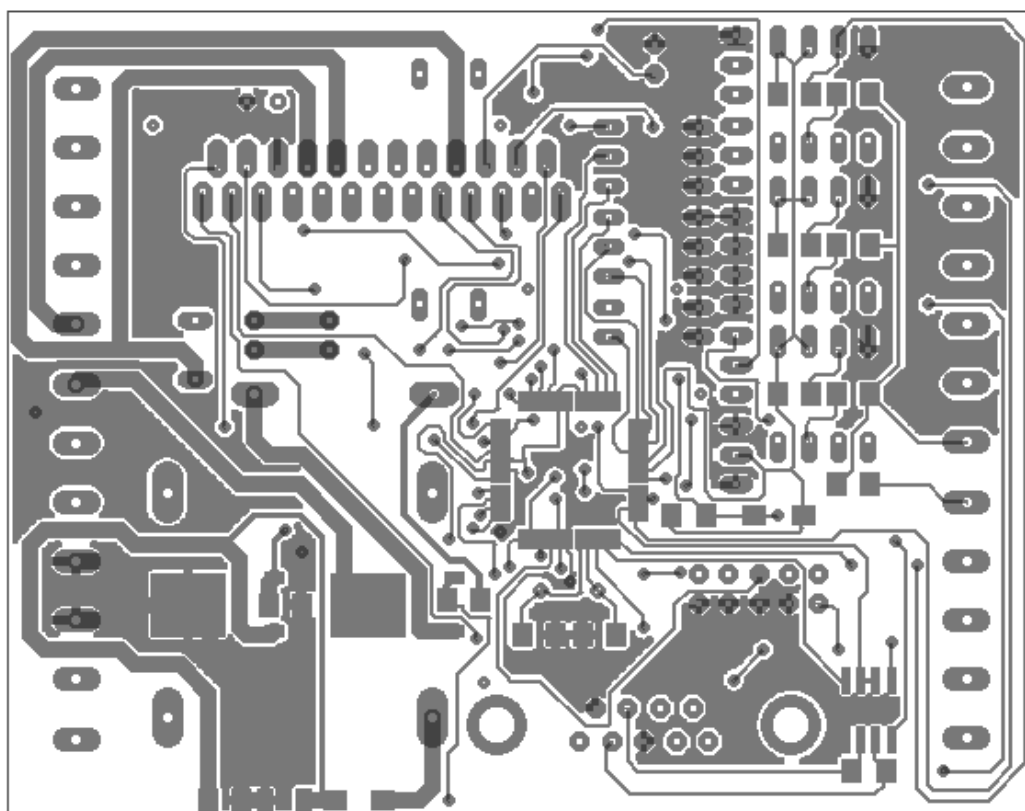
Návrh osazení součástek přípravku ze strany Top



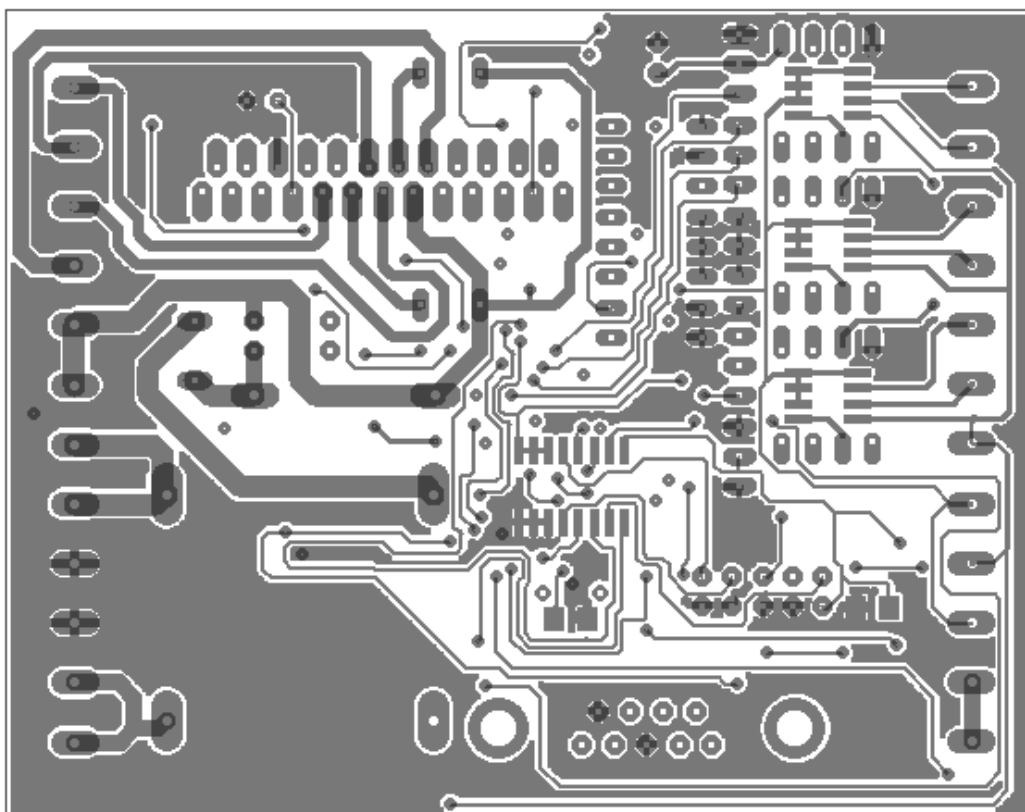
Návrh osazení součástek přípravku ze strany Bottom



Příloha E: Návrh plošných spojů přípravku



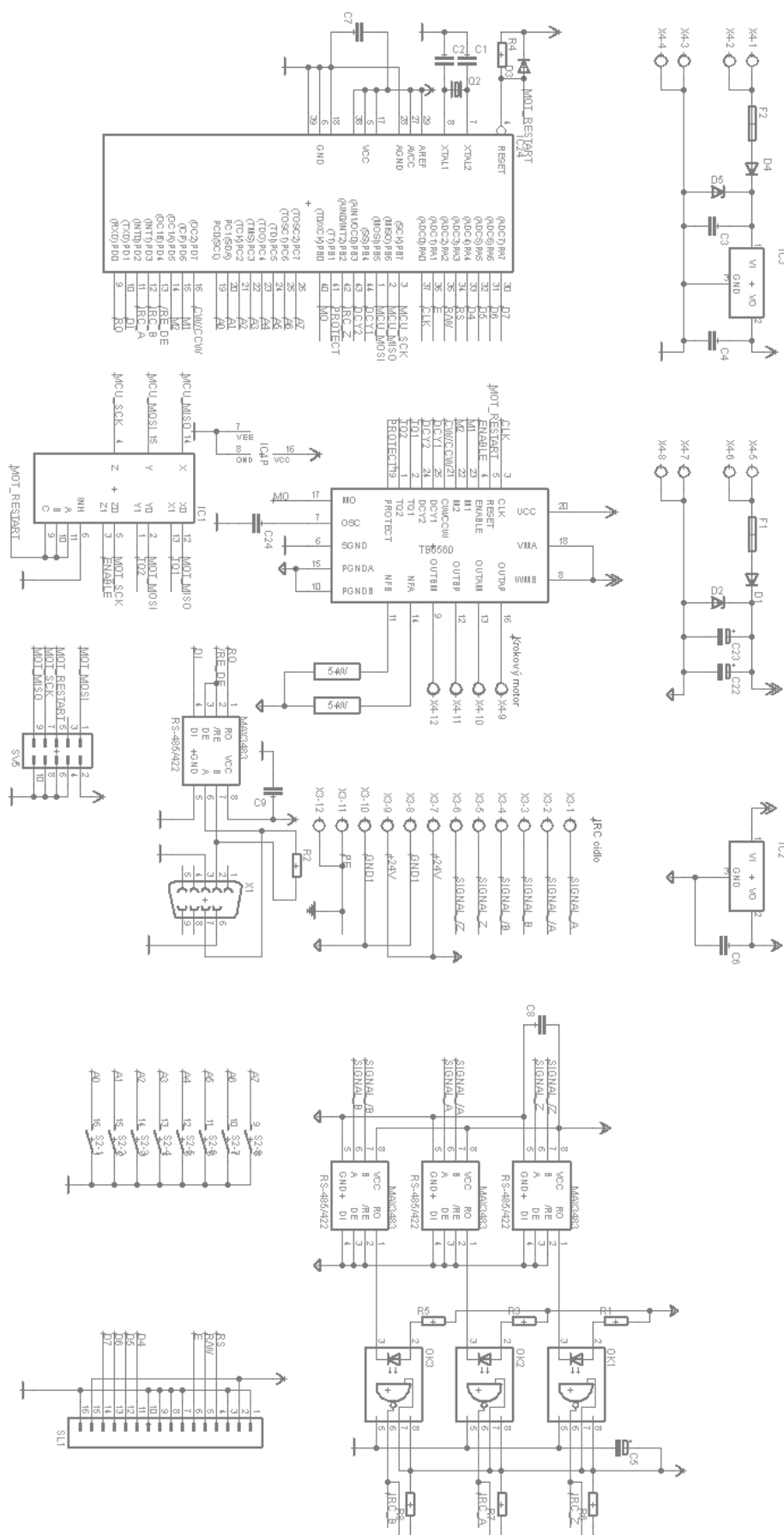
Deska plošných spojů přípravku ze strany Top



Deska plošných spojů přípravku ze strany Bottom

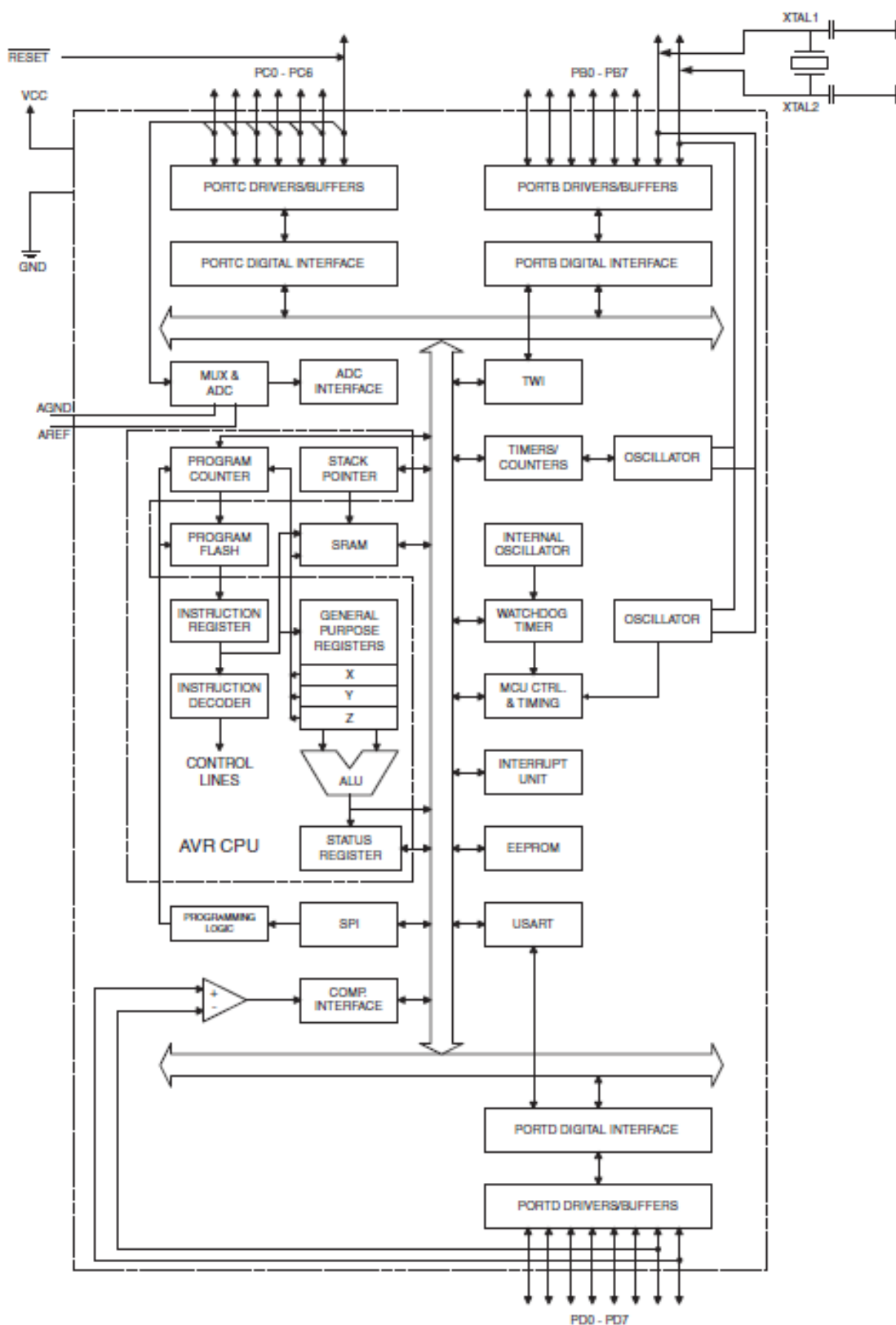


Příloha F - Schéma zapojení přípravku



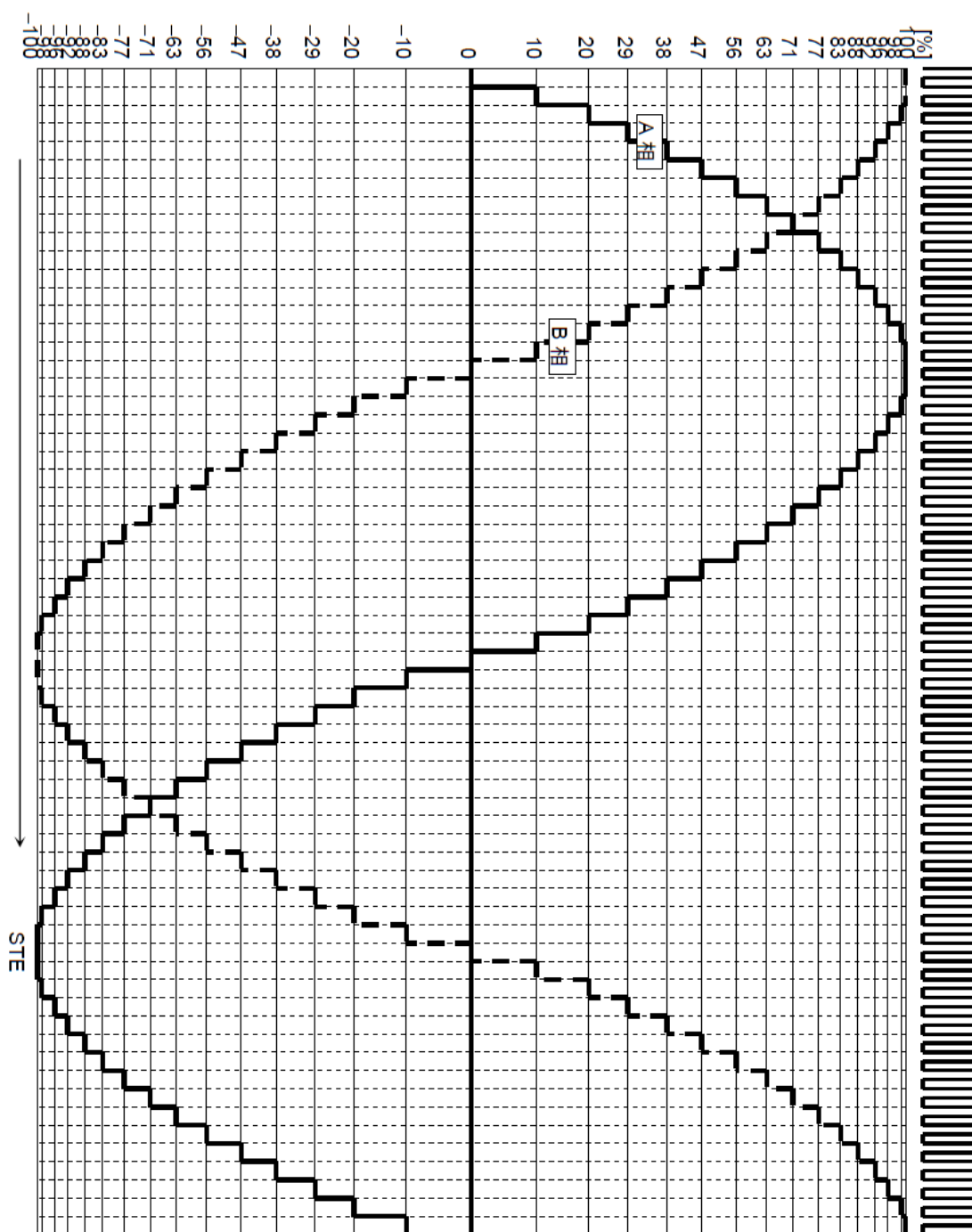


Příloha G: Blokové schéma mikroprocesoru AVR





Příloha H - Mikro krokování





Příloha I: Obsah přiloženého DVD

- Tato práce v elektronické podobě
 - Název souboru: Bakalářská práce
 - Formáty: DOCX, PDF, XPS
- Schéma řídicí jednotky
 - Název souboru: Drive_v3.2
 - Formát: SCH
- Deska plošných spojů řídicí desky
 - Název souboru: Drive_v3.2
 - Formát: BRD
- Výrobní data Excellon a Gerbery řídicí desky
 - Název souboru: Drive_v3.2
 - Formáty: CMP, DRD, DRI, DRL, GPI, PLC, SOL, STC, STS
- Schéma přípravku
 - Název souboru: IRC_v3.0
 - Formát: SCH
- Deska plošných spojů přípravku
 - Název souboru: IRC_v3.0
 - Formát: BRD
- Výrobní data Excellon a Gerbery přípravku
 - Název souboru: IRC_v3.0
 - Formáty: CMP, DRD, DRI, DRL, GPI, PLC, SOL, STC, STS
- Fotodokumentace řídicí jednotky a přípravku